Amine Mestari

Les pouvoirs incroyables du cerveau

L'intelligence dévoilée

Tallandier
Explorations

arte EDITIONS

Amine Mestari

Les pouvoirs incroyables du cerveau

L'intelligence dévoilée

« Explorations »
Tallandier / Arte Éditions

Cet ouvrage est publié sous la direction de Fabrice Papillon

Éditions Tallandier
2, rue Rotrou – 75006 Paris
www.tallandier.com

ARTE Éditions

8 rue Marceau – 92130 Issy-les-Moulineaux
www.arte.tv/boutique

Illustrations © Yves Kuperberg/Éditions Tallandier/ARTE Éditions, 2016

© Éditions Tallandier/ARTE Éditions, 2016

EAN : 979-10-210-1984-3

Ce document numérique a été réalisé par Nord Compo.

À Cécile et à Solal

Introduction

« Ni l'intelligence, ni le jugement ne sont créateurs.
Nous nous sommes trompés trop longtemps sur le rôle
de l'intelligence.
Nous avons négligé la substance de l'homme.
Nous avons négligé d'être. »
Louis Jouvet

Pendant des millions d'années, les humains n'ont été qu'une espèce parmi les autres. Sans crocs ni griffes, sans sens extraordinairement affûtés, ni particulièrement forts, ni particulièrement rapides, ils ne semblaient pas, de prime abord, être les mieux équipés pour régner sur la planète. Et pourtant, aujourd'hui, la réussite de l'homme est totale. Il a colonisé tous les continents, s'est adapté à tous les climats, a asservi les plantes et les autres espèces animales. Il est même allé jusqu'à marcher sur la Lune. Pour voir.

Et tous les talents mis en œuvre pour atteindre ces résultats se sont retrouvés résumés en un seul mot : l'intelligence. Une propriété « évidente », aux multiples facettes, mais qui résiste à toute définition simple, comme le résume le psychologue Roger Lécuyer : « Il est courant chez les pessimistes de dire qu'il y a autant de définitions de l'intelligence qu'il y a de spécialistes, les optimistes pensant, eux, qu'il y a seulement autant de définitions que de théories[1]. »

Universelle, variée et protéiforme, elle est présente en toute chose que nous produisons par la pensée ou par nos actes. Mais dès qu'on cherche à la définir, les difficultés surgissent, ses contours se révèlent flous. En effet, si nous considérons les diverses recherches menées depuis plus de cent ans, il semble qu'existent autant de définitions de l'intelligence que de

personnes travaillant sur le sujet.

En 1921, le *Journal of Educational Psychology* demanda à dix-sept chercheurs, spécialistes de l'intelligence, d'en donner une définition. Déjà à l'époque, personne n'était vraiment d'accord. En 1997, cinquante-deux experts mondiaux de l'intelligence se sont réunis, et à la même question, posée près de quatre-vingts ans plus tard, leurs réponses étaient toujours aussi partagées. Ils sont malgré tout parvenus à un consensus pour proposer une définition suffisamment vaste pour satisfaire tout le monde, et suffisamment floue pour n'éclairer personne :

> L'intelligence est une capacité très générale, qui implique l'aptitude à raisonner, planifier, résoudre des problèmes, penser de manière abstraite, comprendre des idées complexes, apprendre de l'expérience.

Aujourd'hui donc, pour les spécialistes, la notion d'intelligence désigne le potentiel des aptitudes mentales et cognitives qui nous donne la capacité de traiter l'information pour atteindre nos objectifs, résoudre un problème ou s'adapter à notre environnement. Mais quand nous y regardons de plus près, nous constatons que les capacités « intelligentes » sont multiples et variées ; nous pouvons briller en mathématiques et ne pas savoir comment gérer notre vie au quotidien, ou utiliser avec précision toutes les subtilités de la langue tout en étant incapable de résoudre un conflit professionnel. Nous retrouvons là une interrogation aussi ancienne que les premières études menées sur le sujet : existe-t-il une seule intelligence ou faut-il en distinguer plusieurs ?

Bien qu'elle soit insaisissable, cette qualité ne cesse de nous fasciner. Nous vivons une époque où le mythe de l'intelligence en tant que critère universel de jugement de valeur est extrêmement puissant. La notion d'intelligence fait l'objet d'une vénération dans les sociétés occidentales, et les scores de QI (quotient intellectuel) y ont acquis un caractère quasi sacré. Chacun voit dans cet indice un reflet de son « acuité intellectuelle ». Le QI véhicule dans l'inconscient collectif cette idée fausse qu'il mesure de manière absolue notre intelligence. Et certains en tirent encore parfois des conclusions erronées quant à la valeur supposée des individus qu'ils réduisent hâtivement et à tort à ce seul chiffre.

Cette vénération se trouve aussi à la source d'une autre idée reçue selon laquelle complexité égale intelligence. Intuitivement, nous avons le

sentiment que plus une société produit d'objets complexes, issus d'une technologie sophistiquée, plus cette société, et donc ses membres, sont intelligents. Et par conséquent, nous, Occidentaux, heureux inventeurs, possesseurs et utilisateurs, de Smartphones, de voitures (plus ou moins polluantes), de fours programmables à distance, de satellites (espions ou pas), de virus informatiques et d'antidépresseurs, serions les êtres humains les plus intelligents ayant jamais vécu. Cela reste à démontrer.

Mais que sait-on exactement de cette faculté, à l'heure où le marché de l'intelligence explose, où les méthodes sont légion pour mieux « apprendre à apprendre », à se souvenir, à penser, à décider, où magazines, sites Internet et coaches en tous genres nous promettent de l'évaluer pour ensuite l'améliorer ? Certains d'entre eux ne font, au mieux, que détourner, pas toujours à bon escient, des outils inventés par les scientifiques. D'autres nous resservent des préjugés que la science a invalidés depuis longtemps. L'intelligence est la fois d'une banalité confondante, et d'une incroyable complexité.

> Si vous êtes célibataire, que vous allez dans un bar et que vous rencontrez quelqu'un, la chose la plus importante que vous mesurez après le physique, c'est l'intelligence. Vous évaluez l'intelligence des gens quand vous parlez avec eux : est-ce qu'ils sont rapides, quand vous leur parlez d'un concept difficile ou de quelque chose qu'ils ne connaissent pas ? Est-ce qu'ils comprennent[2] ?

C'est Robert Plomin, généticien comportementaliste, qui nous livre cet exemple, illustrant bien comment chacun d'entre nous, à sa manière, évalue sans cesse le niveau intellectuel de ses interlocuteurs. Robert Plomin étudie l'intelligence depuis plus de vingt ans d'un point de vue génétique. Il est particulièrement bien placé pour nous expliquer comment cette qualité évidente dans notre vie quotidienne, devient infiniment plus complexe lorsque la science tente de la comprendre. Elle est le fruit de l'interaction de milliards de cellules, d'hormones, de neurotransmetteurs, dont la formation a été influencée par l'action conjuguée de milliers de gènes. Et tout ce système d'une complexité inouïe est sans cesse modifié par la manière dont il réagit à la multitude d'événements, petits et grands, auxquels nous expose notre environnement.

Comprendre l'intelligence semble dès lors une tâche quasi impossible. Pourtant, la science s'y emploie. Elle a fait de l'intelligence un domaine d'étude depuis la seconde moitié du XIXe siècle. Pour la définir et l'évaluer, elle s'est d'abord attachée à des mesures simples, comme le volume de la boîte crânienne, ou le temps de réaction, c'est-à-dire la vitesse à laquelle nous traitons une information provoquée par un stimulus basique, comme un son ou une lumière. Puis elle s'est intéressée à ce que l'intelligence accomplit, en mettant au point des tests et en comparant les résultats des individus, ce qui a donné naissance au QI. Aujourd'hui enfin, les avancées technologiques permettent aux neurosciences d'étudier l'intelligence à partir de l'organe qui la produit : le cerveau.

Nous allons tenter, au fil des pages qui suivent, de dresser un panorama de ce que la science a découvert depuis les cent cinquante ans durant lesquels cette qualité aux contours flous est devenue un domaine d'étude scientifique. Où en est notre intelligence ? Est-elle la même à Paris et à Singapour, au cœur de la forêt amazonienne et à Sydney, à la Renaissance et à l'âge d'or de la révolution industrielle ? Comme la taille, nous est-elle donnée à la naissance de manière définitive ? Et surtout, peut-on agir sur elle ? Peut-on la développer ?

Des preuves, de plus en plus nombreuses, montrent que nous pouvons enrayer ce que l'on appelle le déclin cognitif. Par cognition, on entend l'ensemble des capacités mentales qui nous permettent de comprendre le monde et d'interagir avec lui. Elle inclut donc la perception, la motricité, l'attention, l'apprentissage, la mémoire, les émotions, le raisonnement, l'anticipation, la planification, la flexibilité mentale, l'inhibition, la prise de décision et bien évidemment l'intelligence – si tant est que l'intelligence soit autre chose que la somme de toutes les compétences que nous venons d'énumérer.

On sait aujourd'hui que la diminution, avec l'âge, de ces capacités, peut être retardée grâce à différents entraînements spécifiques, mais aussi grâce à une bonne hygiène de vie, à un certain nombre de pratiques, en particulier sociales et enfin grâce à de nouvelles technologies comme la stimulation magnétique transcrânienne ou l'utilisation de casques de réalité virtuelle. Nous donnerons des exemples de ces différentes méthodes dont les résultats sont très variables et encore largement controversés. Mais la question qui se pose est de savoir si l'on peut, ou si l'on pourra, utiliser ces méthodes conçues pour soigner certaines

maladies, ou pour retarder les effets du vieillissement, en vue d'augmenter significativement notre intelligence.

Répondre à toutes ces questions n'implique pas simplement d'apporter un éclairage scientifique à un phénomène biologique, car l'intelligence s'avère une qualité essentielle, ontologique de l'humain. La conception et donc la définition de l'intelligence se révèlent un enjeu important, parce que plus que tout autre concept de psychologie, nous nous servons de celui-ci pour nous fonder en tant qu'espèce, et pour nous définir et nous distinguer les uns des autres en tant qu'individus. Parler de l'intelligence de quelqu'un n'est pas anodin, c'est lui donner une valeur, et donc lui attribuer plus ou moins consciemment une place et un rôle dans la société. L'intelligence s'est vu attribuer le rôle d'échelle absolue de mesure de l'humanité, en particulier dans nos sociétés technologiques où le savoir importe tant et où les maîtres mots (maux) sont performance, rapidité, compétition. Il n'est pas étonnant, dès lors, qu'excès et dérives aient marqué son histoire de manière récurrente et que les recherches à son sujet aient été détournées pour justifier des théories racistes ou eugénistes.

Il est donc important, voire urgent, surtout en cette période trouble marquée par la méfiance et la peur de l'autre, de mieux connaître cet aspect de notre esprit. Mieux comprendre notre intelligence, c'est mieux comprendre celle de l'autre dans ce qu'elle a de semblable et de différent, c'est aussi savoir mieux utiliser nos compétences et nos connaissances pour renouer avec un humanisme dans lequel la science joue un rôle essentiel.

---

1. Martine Fournier et Roger Lécuyer, *L'Intelligence de l'enfant. Le regard des psychologues*, Éditions Sciences Humaines, 2006.

2. Robert Plomin, entretien réalisé le 21 mai 2015. Toutes les citations signalées dans l'ouvrage de cette manière font référence aux entretiens menés par l'auteur dans le cadre du documentaire « Notre intelligence dévoilée ».

CHAPITRE 1

Intelligence et évolution du cerveau

Il est évident que notre espèce doit ses remarquables réalisations à cet outil extraordinaire, ce chef-d'œuvre de l'évolution, qu'est notre cerveau. Ce précieux organe, qui peut compter jusqu'à cent milliards de neurones, chacun pouvant être connecté à dix mille autres, est considéré comme l'objet le plus complexe de l'univers connu. Il constitue le support biologique de notre esprit et des propriétés qui nous déterminent en tant qu'espèce : nos capacités cognitives exceptionnelles, la plasticité de nos comportements et notre capacité à interagir avec autrui à travers des réseaux extrêmement vastes et complexes. On peut regrouper de manière large toutes ces capacités sous le terme d'intelligence, et une image très simple consisterait à la comparer à la force physique. Le niveau de notre intelligence est le résultat du cerveau comme la force physique est celui des muscles. Certaines personnes naissent plus fortes que d'autres, et l'entraînement permet d'augmenter en partie cet avantage, mais d'une manière limitée. Comment ne pas voir, dès lors, dans l'évolution de la taille du cerveau, qui s'est faite de concert avec la complexification de nos outils et de nos sociétés, la preuve qu'il existe un lien entre taille du cerveau et intelligence ?

Cerveau humain et cerveau animal

Le paléoanthropologue Jean-Jacques Hublin s'est penché sur cette question. Directeur du département d'anthropologie évolutionniste à

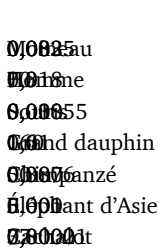
l'Institut Max-Planck de Leipzig, il s'intéresse aux évolutions biologiques et culturelles à l'origine de l'homme moderne.

> Il serait naïf de penser qu'il n'existe aucun lien entre la taille du cerveau et la complexité des « comportements » que nous pourrions nommer intelligence. Les animaux « les plus intelligents », comme certaines formes de dauphins par exemple, possèdent un très grand cerveau, doté d'un grand nombre de neurones. Nous retrouvons chez eux quelque chose qui rappelle ce que l'on observe chez les grands primates et chez l'homme[1].

La taille du cerveau semble donc jouer un rôle. Pourtant, le cerveau d'un éléphant pèse environ cinq kilos, près de quatre fois plus que le cerveau humain. Malgré toutes les prouesses dont est capable ce noble pachyderme, il est difficile d'imaginer qu'il puisse être quatre fois plus intelligent que nous. Jean-Jacques Hublin précise :

> Dans une perspective longue, une perspective géologique, nous retrouvons bien un accroissement de la taille du cerveau au cours de l'évolution humaine. Il y a environ deux millions d'années, les premiers hommes possédaient des cerveaux à peine plus gros que ceux des grands singes actuels : chimpanzé, gorille, etc. Ensuite, la taille du cerveau, proportionnellement à celle du corps, a grandi de façon régulière au cours du temps. Il est important de mettre cette croissance de la taille du cerveau en relation avec la taille absolue et l'évolution du volume corporel[2].

Pour comprendre le lien entre la taille du cerveau et la complexité comportementale, il faut donc tenir compte du rapport entre la taille et le poids du cerveau, et celui du corps. Globalement, chez tous les vertébrés ce rapport est proportionnel. Mais certains possèdent des cerveaux plus grands et plus lourds que ne le laisse supposer le reste de leur corps. Parmi eux, outre l'homme, se distinguent les dauphins ou encore les perroquets. Ce rapport de masse paraît donc être un bon paramètre pour mesurer l'intelligence.



Le cerveau humain jouit d'un indice de masse corporelle relativement élevé, ce qui semble lui conférer un avantage majeur : la possibilité de disposer d'un certain nombre de neurones pour accomplir d'autres actions que diriger des processus inconscients, tels la régulation du métabolisme ou le maintien automatique de la posture, et par là même une aptitude supérieure à traiter de l'information.

Cela suffit-il à expliquer les capacités cognitives exceptionnelles qui caractérisent notre espèce ? Non, de toute évidence, car si c'était le cas, nous devrions également observer certains comportements plus « complexes » chez les moineaux ou les souris.

> Traditionnellement, les gens qui se sont intéressés à l'évolution du cerveau ont d'abord regardé sa taille. À présent, on peut observer sa forme. Et là, en analysant « le négatif » de la boîte crânienne, on voit très bien que certaines parties du cerveau, les lobes frontaux, les lobes occipitaux, les lobes temporaux, différentes grandes parties du cerveau se sont développées à des vitesses différentes au cours de l'évolution[3].

Vie sociale et accroissement du néocortex

Comme le remarque Jean-Jacques Hublin, plus importantes encore que la taille du cerveau, ce sont les différences dans le développement de ses différentes aires qui vont exercer un effet sur le comportement. Le cervelet, par exemple, impliqué dans la coordination des mouvements musculaires, a un poids remarquablement constant chez tous les mammifères par rapport au reste du cerveau. À l'opposé, celui du

néocortex – fortement impliqué dans la cognition chez l'homme – est plus ou moins développé selon les espèces. Le néocortex est la couche de matière grise qui recouvre les deux hémisphères cérébraux. Les poissons et les amphibiens en sont complètement dépourvus ; il n'apparaît qu'à l'état d'ébauche chez certains reptiles, mais chez la musaraigne il représente 20 % du poids du cerveau et près de 80 % chez l'homme. La taille du néocortex a pris énormément d'ampleur chez les primates depuis les petits lémuriens jusqu'aux grands singes et aux humains.

Pour beaucoup de scientifiques, cet accroissement du néocortex serait un reflet de la complexité croissante de la vie sociale chez les primates. Au cours de l'évolution, les groupes humains sont devenus de plus en plus importants, avec des relations sociales de plus en plus complexes. Cela nous aurait permis de mettre en place des stratégies sophistiquées nécessitant la participation de très nombreux individus. Par conséquent, la capacité à prédire le comportement des autres dans un groupe aurait constitué un avantage évolutif certain. C'est ce qu'on appelle la théorie de l'esprit, la capacité à reconnaître chez soi et chez les autres un état d'esprit (émotions, désirs, intentions, etc.).

> On soupçonne que ce qui fait la différence entre ceux que l'on appelle les hommes « modernes », c'est-à-dire nous-mêmes ou des formes très proches, qui apparaissent dans le registre paléontologique il y a à peu près deux cent mille ans, et tous les autres qui ont vécu avant ou en même temps qu'eux, c'est justement quelque chose qui est de l'ordre de la complexité sociale et de la relation avec l'autre, de la capacité d'altruisme. Et c'est probablement une des raisons pour lesquelles les hommes « modernes » ont remplacé tous les autres hommes. Quand on regarde le passé, on voit qu'il y a eu une complexification des réseaux d'individus et des réseaux sociaux. Un certain nombre de modifications de notre cerveau serait le résultat de cette évolution-là. Dans un monde où, dans le fond, ce qui a fait notre succès c'était de pouvoir faire coopérer de nombreux individus, le succès reproductif d'un individu a été sa capacité à gérer des réseaux sociaux et pas seulement à se mesurer à d'autres mâles pour se reproduire, ou être une femelle attirante[4].

Ainsi, l'accroissement de certaines aires corticales, comme par exemple celles qui sont responsables du langage, aurait été stimulé parce qu'il améliorait nos compétences sociales. De ce point de vue, une zone du néocortex nous intéresse tout particulièrement : celle du cortex préfrontal, la région du cerveau la plus récente dans l'évolution humaine. Son augmentation s'explique par le fait qu'elle abrite les capacités cognitives permettant d'établir un climat social harmonieux et de renforcer la cohésion du groupe, en réfrénant nos tendances égoïstes et en privilégiant des conduites d'entraide et de coopération.

Cette zone du cerveau a longtemps été considérée comme le siège de notre intelligence, car les scientifiques estimaient qu'on y trouvait un nombre plus important de neurones qu'ailleurs. Mais des études réalisées au début des années 2000 ont remis en question cette conception. Nos facultés supérieures d'anticipation, de planification, de mémorisation et de raisonnement viendraient avant tout d'une interconnectivité plus riche entre le cortex préfrontal et le reste du cerveau.

C'est l'achèvement du séquençage du génome humain en 2003, puis du chimpanzé en 2005, qui nous a permis d'en apprendre plus, en comparant nos différences. Depuis que nous nous sommes séparés de notre ancêtre commun, il y a environ six millions d'années, de nombreux changements sont apparus dans nos génomes respectifs. Des centaines de nouveaux gènes se sont formés chez l'homme par mutation, parmi lesquels celui répondant au doux nom de SRGAP2C. Ce gène, qui n'existe que chez l'homme, a permis une augmentation considérable du nombre de connexions nerveuses dans le néocortex préfrontal. Il confère aux cellules nerveuses la propriété entièrement nouvelle d'amplifier le nombre de points de contact présents à leur surface. Or l'une des caractéristiques de notre espèce est le nombre record de ces contacts, appelés épines dendritiques. Les neurones du cortex préfrontal peuvent ainsi présenter dix mille épines qui représentent autant de connexions avec d'autres neurones. Leur nombre culmine vers l'âge de cinq ans et régresse ensuite progressivement jusqu'à trente ans, ce qui reflète l'évolution de notre capacité à apprendre au cours de notre développement. Autre indice sur l'importance de SRGAP2C pour notre intelligence : ce gène ne varie pas dans la population humaine actuelle. Par ailleurs, son apparition remonte à environ deux millions et demi d'années, ce qui coïncide, étonnamment, avec l'apparition du genre *Homo* et l'accroissement massif de son cerveau, du néocortex en particulier.

Culture et complexité biologique

Un cerveau d'une taille importante, relativement à notre masse corporelle, nanti de nombreux neurones hyperconnectés entre eux : voilà donc ce qui forme le support biologique de notre intelligence. Mais qu'en est-il de ce qui la constitue, des connaissances et des concepts qui la nourrissent ?

Là aussi, la biologie de l'évolution nous apporte des pistes. Marcher debout sur nos deux jambes s'avère un trait humain spécifique. Debout, il est plus facile de guetter des proies ou des ennemis, et en libérant nos bras, nous avons pu commencer à réaliser plus de choses comme lancer des signaux ou fabriquer des outils élaborés. Mais le prix à payer pour s'adapter à cette nouvelle position le fut surtout par les femmes. La station verticale nécessitait des hanches étroites, ce qui provoqua une diminution de la largeur du bassin, et donc du canal utérin, au moment même où la tête des nouveau-nés devenait plus grosse ! Les morts en couches devinrent plus nombreuses, et ce sont les femelles qui accouchaient le plus tôt, d'enfants au crâne souple et à la taille réduite, qui s'en sortirent le mieux. Peu à peu, au fil des millénaires, l'évolution favorisa les naissances précoces. Ainsi l'humain, en comparaison des autres espèces, naît prématurément. Sa boîte crânienne n'est pas soudée, ses muscles ne sont pas opérationnels, son système nerveux n'est pas achevé. Autant de phénomènes qui impactent directement son intelligence, d'après Jean-Jacques Hublin.

> Les hommes produisent des nouveau-nés qui sont très matures sur le plan de la réception des signaux du monde extérieur, mais dont les cerveaux sont très petits en proportion du cerveau de l'adulte et par rapport au cerveau des nouveau-nés d'autres espèces de primates. Ces enfants sont incapables de survivre sans l'assistance de leur mère et de leurs parents. Et c'est quelque chose qui dure très longtemps. À cela s'ajoute un autre phénomène, que l'on observe seulement chez des hominidés assez récents : les mères n'allaitent les enfants que pendant une période assez courte et donc le sevrage apparaît tôt, beaucoup plus tôt que chez les grands singes. Et cela permet une chose absolument géniale : les mères humaines se mettent à partager le fardeau de ce « cerveau en croissance »

> avec les autres adultes du groupe. Or cette maturation lente du cerveau, qui ne prendra fin qu'à l'âge adulte, est spécifique à l'homme. C'est un trait psychologique fondamental qui va faciliter, au fur et à mesure de sa croissance, son insertion dans un réseau social puisque sa survie en aura dépendu dès le départ. Le résultat de tout ça, c'est qu'avoir un cerveau qui met très longtemps à grandir est un facteur qui accroît la complexité cognitive[5].

Un poulain, par exemple, sait déjà galoper dans les heures qui suivent sa naissance, une particularité héritée de ses ancêtres sauvages qui étaient les proies de nombreux prédateurs, et qui devaient pouvoir s'enfuir rapidement. En comparaison, les enfants humains naissent prématurés, une partie de leurs systèmes est sous-développée, ce qui les rend tributaires des adultes durant de longues années. Les élever nécessite l'aide de tout le groupe qui a ainsi le loisir de façonner leur esprit avec un très grand degré de liberté. C'est à ce cerveau immature à la naissance que l'homme doit son exceptionnelle capacité d'apprentissage. Inachevé et naturellement indéterminé à la naissance, l'homme serait avantagé par la plasticité de sa culture. Cette culture, grâce à l'éducation et l'intelligence, lui permet de s'adapter beaucoup plus vite aux modifications de son environnement que ne lui permet sa seule évolution biologique. Cette dernière, selon la logique darwinienne, relève d'un mécanisme beaucoup plus long qui nécessite des milliers, voire des millions d'années.

> Chez l'homme, on ne peut pas déconnecter le culturel du biologique. C'est possible sur une période très courte, l'évolution historique des sociétés ne s'explique évidemment pas par des traits biologiques. Par contre, dès que l'on considère une plus grande profondeur de temps, on s'aperçoit qu'il y a une influence constante entre biologie et complexité culturelle[6].

Mais certains scientifiques avancent que cette rétroaction peut se faire dans les deux sens. Professeur de psychologie développementale et cognitive à l'université du Missouri, spécialiste de l'histoire évolutive des humains, David Geary a suivi l'évolution du cerveau humain depuis près

de deux millions d'années jusqu'à aujourd'hui. Il a posé comme hypothèse qu'une population plus concentrée était un indice pertinent de la complexité sociale, dont le développement a suivi celui de notre intelligence. Autrement dit, plus la population était dense dans une zone géographique, plus il y avait de chance qu'une importante division du travail, une collecte efficace de la nourriture et des échanges sociaux riches et variés se mettent en place. Après avoir examiné les résultats de fouilles faites en Europe, en Asie et en Afrique, il a découvert que, partout, un lien entre concentration de la population et volume crânien existait. Mais les résultats étaient surprenants, à l'opposé de ceux attendus. Moins la population était dense, plus la taille du crâne était grande, et à l'inverse plus la population était nombreuse, plus les boîtes crâniennes s'avéraient petites. Et au fil de l'évolution humaine, la taille des groupes n'a cessé de croître.

« Vous ne voudrez sans doute pas l'admettre, mais la meilleure hypothèse pour expliquer le déclin de la taille de notre cerveau, c'est la théorie de l'idiocratie. Je pense que c'est ce qui nous arrive[7]. » Le Professeur Geary fait référence au film *Idiocracy* réalisé en 2007 par Mike Judge. Dans ce film, un Américain moyen est choisi comme cobaye d'un programme d'hibernation. Il se réveille cinq cents ans plus tard, dans le futur, et découvre que le niveau intellectuel de l'espèce humaine a tellement baissé qu'il est l'homme le plus intelligent sur la planète.

> L'homme de Cro-Magnon, qui a peint les murs de la grotte de Lascaux il y a quelque 17 000 ans, était l'*Homo sapiens* doté de la plus grosse cervelle, et physiquement il était bien plus fort que ses descendants d'aujourd'hui. Ces caractéristiques étaient nécessaires pour survivre dans un environnement hostile. Il est possible qu'avec l'émergence de sociétés très complexes le cerveau humain soit devenu plus petit parce que les individus n'ont plus besoin d'être aussi intelligents pour survivre. Ils s'aident les uns les autres, ils inventent des technologies plus performantes et surtout ils mettent en place des structures sociales sur lesquelles s'appuyer. On peut supposer qu'en bâtissant des sociétés de plus en plus vastes et interconnectées, se caractérisant par une division du travail et une spécialisation accrue, l'être humain a eu de moins en moins besoin de compter sur ses seules capacités cognitives pour

survivre[8].

Cette hypothèse, controversée – mais elle est loin d'être la seule dans le domaine de l'intelligence comme vous le verrez au fil des pages –, se trouve renforcée selon lui par deux études. L'une publiée en 2010 par le paléoanthropologue américain John Hawks, et l'autre parue un an plus tard, réalisée par Antoine Balzeau, paléoanthropologue au Muséum national d'histoire naturelle et au CNRS. Les deux études montrent que la taille du cerveau humain a diminué de 10 % environ au cours des vingt à trente mille dernières années. Mais cela nous a-t-il rendus moins intelligents ? Non, bien évidemment, si l'on excepte certains de nos comportements (guerres, terrorisme, réchauffement climatique, hyperconsommation, etc.) qui ne plaident pas vraiment en faveur d'une plus grande intelligence.

À l'inverse, rien ne permet de dire que les *Homo sapiens* qui évoluaient il y a 30 000 ans étaient moins intelligents. Ils vivaient de la même manière que nous, possédaient des techniques de chasse complexes, un outillage perfectionné, et leurs productions artistiques d'alors n'ont rien à envier à certaines formes d'art contemporain. Plus intelligents ? Moins intelligents ? Notre intelligence a de toute évidence augmenté durant notre évolution, nourrissant et se nourrissant de notre évolution culturelle en un cercle vertueux. Mais continue-t-elle à croître, ou avons-nous atteint nos limites ? Et si oui, quand cela s'est-il produit ? Pour le savoir, il faudrait comparer et classer les hommes des différentes époques, ainsi que leurs cultures. Mais cela est-il possible, ou même seulement souhaitable ?

> Je ne crois pas qu'il y ait une intelligence unique que l'on pourrait mesurer avec un centimètre et dire : voilà, il est aussi intelligent, il est plus intelligent, il est moins intelligent. Je pense qu'il y a des intelligences, des formes d'intelligence. Et au fond, ce qui compte, c'est le résultat. Un homme de Cro-Magnon était intelligent pour agir dans le monde où il vivait et pas pour travailler dans une banque[9].

Jean-Jacques Hublin fait partie des scientifiques circonspects quant aux théories qui prétendent comparer l'intelligence. Il est vrai que c'est un sujet polémique, d'autant plus qu'il a été historiquement sensible. Entre

vérité scientifique, politiquement correct, et théories plus ou moins farfelues, le débat a fait et continue de faire rage. Mais Karl Popper, le philosophe des sciences, ne disait-il pas que la science ne progresse qu'en infirmant ou confirmant sans fin des hypothèses ?

---

1. Jean-Jacques Hublin, entretien réalisé le 27 mai 2015.
2. *Idem*.
3. *Idem*.
4. *Idem*.
5. *Idem*.
6. *Idem*.
7. David Geary, entretien réalisé le 13 février 2015.
8. *Idem*.
9. Jean-Jacques Hublin, entretien réalisé le 27 mai 2015.

CHAPITRE 2

Du volume cérébral au QI

Il faut remonter plus d'un siècle en arrière pour comprendre sur quels grands principes s'est fondée notre appréhension de l'intelligence. Le débat central des scientifiques neurologues du XVIIIe et du XIXe siècle concernait l'organisation du cerveau. Certains croyaient que notre encéphale était relativement homogène et qu'il travaillait de façon globale pour produire toutes les fonctions mentales. D'autres croyaient à l'inverse que le cerveau était compartimenté et que chaque région était dédiée à une fonction particulière. Identifier les zones responsables de chaque fonction permettrait donc de mieux comprendre le cerveau.

Gall et Broca : naissance d'une science du cerveau

En 1796, l'un des tenants de cette seconde école, le médecin allemand Franz Joseph Gall, proposa une théorie qu'il baptisa la phrénologie. Selon lui, la localisation des fonctions cérébrales dans des zones précises du cerveau influençait la forme du crâne. Les creux et les bosses joueraient comme une carte reflétant notre caractère et donc notre intelligence. Cette théorie connut son âge d'or vers 1830, avant de perdre son crédit au milieu du XIXe siècle. Bien qu'erronée, elle a jeté les bases de la compréhension du cerveau en termes de zones fonctionnelles (centre du langage, de la vision, centre moteur, etc.). En plus du concept d'aires fonctionnelles, cette théorie a laissé son empreinte dans notre culture populaire dans des expressions comme avoir « la bosse des maths » ou la

« bosse du commerce ».

Quelques années plus tard, Paul Broca mit en évidence le lien précis entre certaines zones cérébrales et certaines fonctions. Chirurgien, anatomiste, anthropologue, Broca avait abordé tous les domaines de la médecine avant de s'intéresser au cerveau. En étudiant l'encéphale de patients souffrant d'aphasie (perte de la parole) suite à un accident, il apporta la preuve anatomique que celui-ci était constitué de zones régissant des fonctions bien précises. Son nom fut d'ailleurs donné à l'aire du langage articulé : « l'aire de Broca ».

Mais ces différentes zones, bien que relativement similaires chez chacun d'entre nous, interagissent de manière bien plus complexe que ce que Gall ou Broca pouvaient imaginer. L'aire de Broca, par exemple, est située dans l'hémisphère gauche chez la plupart des individus, mais chez certains gauchers, elle peut être située dans l'hémisphère droit. Sa localisation ou sa taille relative ne peuvent en aucun cas nous permettre de prédire un comportement ou une aptitude. Et surtout, si chaque zone est nécessaire pour expliquer une fonction, aucune n'est suffisante à elle seule. Les progrès en imagerie médicale ont permis de mettre en évidence depuis une vingtaine d'années l'existence de ces zones spécialisées, mais aussi les réseaux de communication complexes entre elles.

DU VOLUME CÉRÉBRAL AU QI

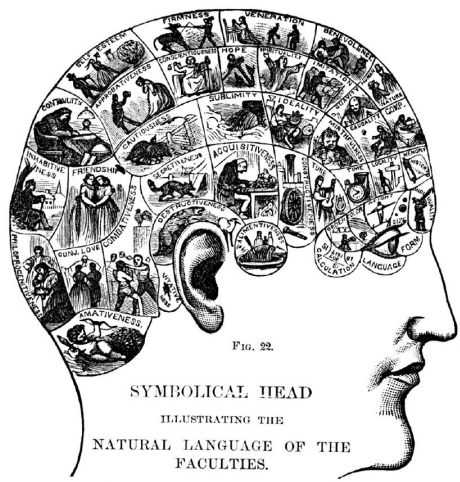


Fig. 22.

SYMBOLICAL HEAD
ILLUSTRATING THE
NATURAL LANGUAGE OF THE
FACULTIES.

Orson, Lorenzo et Charlotte Fowlers, 1894.

Le neurofeedback ou l'autostimulation cérébrale

Plusieurs psychologues et quelques services hospitaliers proposent des séances de « neurofeedback », une technique expérimentale qui n'a que quelques années d'existence. Utilisée dans des cas de troubles du déficit de l'attention, de stress post-traumatique, d'épilepsie ou encore d'insomnie, elle consiste à enregistrer l'activité électrique neuronale et de permettre à chacun de contrôler son cerveau en apprenant à stimuler volontairement certaines zones spécifiques. L'objectif étant de corriger certains défauts de fonctionnement. Les séances se déroulent de la manière suivante : un patient est équipé d'un casque pourvu d'électrodes enregistrant l'activité cérébrale. Puis le thérapeute lui demande, par exemple, d'imaginer qu'il se déplace dans une pièce. Il peut voir en même temps sur un écran quelle zone de son cerveau est activée. Après quoi, l'expérimentateur lui demande de penser qu'il court dans cette même pièce et, ensuite, qu'il y rentre en volant. À chaque étape, la zone cérébrale est un peu plus sollicitée, et le patient apprend à relier des pensées précises à l'activation d'une zone.
Les effets positifs du neurofeedback sont toujours en cours d'évaluation. Cette technique de resynchronisation a montré des résultats encourageants dans le traitement de l'épilepsie ou dans les troubles du déficit d'attention, mais aucun protocole de soins n'a encore été validé en France.

Parallèlement à ces tentatives d'élaboration de théories fonctionnelles du cerveau, le XIXe siècle vit se développer un extraordinaire attrait pour les chiffres. Pour ceux qui s'intéressaient à la notion d'intelligence, il s'agissait essentiellement de mesures physiques du crâne, soit externes, au moyen de règles ou de compas ; soit internes, par remplissage de la boîte crânienne d'un squelette avec des graines de moutarde ou de grenaille de plomb afin d'en mesurer le volume. De cette période date l'hypothèse du lien entre intelligence et volume du cerveau.

À cette époque, la France, comme toutes les grandes puissances occidentales, étendait son empire colonial et deux des questions débattues par les savants étaient de savoir si l'intelligence dépendait du volume du crâne, et si les Blancs étaient plus intelligents que les autres. Dans un article de 1861, Paul Broca affirme :

> En moyenne la masse de l'encéphale est plus considérable chez l'adulte que chez le vieillard, chez l'homme que chez la femme, chez les hommes éminents que chez les hommes médiocres, et

> chez les races supérieures que chez les races inférieures. Toutes choses égales d'ailleurs, il y a un rapport remarquable entre le développement de l'intelligence et le volume du cerveau[1].

Et quelques années plus tard, ce furent les travaux de Charles Darwin sur l'évolution des espèces qui fournirent les postulats de base sur lesquels s'appuyèrent les premiers théoriciens de l'intelligence.

Charles Darwin écrivait en 1871 :

> Personne ne doute je présume, que la grande taille du cerveau chez l'homme relativement à son corps, en comparaison du gorille ou de l'orang-outang, est étroitement liée à ses capacités mentales supérieures[2].

Toute la science du XIXe siècle, qui s'intéressait aux capacités intellectuelles de l'homme, fut marquée dès ses origines par cette idée de comparaison et de hiérarchisation des individus et des groupes qui a laissé son empreinte, jusqu'à aujourd'hui, sur toute tentative d'explication scientifique de l'intelligence. Les découvertes scientifiques, en permettant la « biologisation » du social, firent porter à l'homme un regard différent sur lui-même et sur l'altérité. Dès lors, il devint évident de justifier les différences en les renvoyant à un ordre naturel.

Galton et l'eugénisme : les débuts polémiques d'une science de l'intelligence

L'un des premiers théoriciens de l'intelligence, celui qui a le mieux exprimé la fascination de son époque pour les chiffres, n'est autre que le cousin de Darwin, Francis Galton. Contemporain de Broca, il était lui aussi un touche-à-tout, autodidacte génial, tour à tour géographe, météorologue, généticien. Il est surtout connu pour être le père de l'eugénisme… Avant d'émettre ce postulat, il voulut démontrer mathématiquement comment les théories évolutionnistes de son cousin pouvaient permettre des prédictions sur l'espèce humaine.

Pour ce faire, il inventa le concept de corrélation, dont il fit un outil statistique appliqué à la biologie. Cette notion est essentielle dans l'étude

de l'intelligence, puisque c'est en partie sur elle que se fonde la psychologie comparée ou psychologie différentielle dont Galton fut l'un des fondateurs. Cette spécialité se donne par exemple pour but de mesurer les différences de capacités cognitives entre individus.

Un petit rappel est ici nécessaire sur ce qu'est une corrélation. Une corrélation permet de mesurer les liens qui peuvent exister entre plusieurs événements. Par exemple, une corrélation constate que A et B évoluent de façon similaire. Et donc que pour une certaine valeur de A, on peut s'attendre à trouver une certaine valeur de B. Mais attention, corrélation ne veut pas dire causalité !

Ainsi, nous observons une forte corrélation entre la consommation de glace (crème dessert) et le nombre de morts par noyade. Cela veut-il dire qu'il est dangereux de manger une glace avant de se baigner car cet aliment contiendrait quelque chose qui empêche, par exemple, notre corps de nager ? Non, il n'existe aucune relation de cause à effet entre les deux. Mais on se baigne plus souvent en été, tout comme on mange plus de glace en été. Il est donc normal que ces deux variables augmentent en même temps, sans qu'il y ait un quelconque lien direct.

L'un des objectifs de Sir Francis Galton était de démontrer statistiquement la théorie darwinienne de l'évolution en étudiant l'homme du point de vue de l'intelligence. Si l'intelligence était une caractéristique adaptative sélectionnée par l'évolution, on devait alors trouver une grande diversité d'intelligence chez les individus et une distribution qui devait être fonction de l'environnement. Pour cette raison, Galton était persuadé qu'un lien existait entre intelligence et classe sociale. Il a donc testé de grands échantillons de personnes appartenant à toutes les catégories sociales, en respectant l'équilibre des sexes et de l'âge.

Mais pour pouvoir mesurer l'intelligence, il fallait d'abord la définir. Galton avait une approche de l'intelligence basée sur la perception. Selon lui, pour la mesurer, il fallait évaluer les capacités sensorielles. C'est en suivant ce principe qu'il mit au point les premiers outils de mesure de l'intelligence. Pour Jacques Lautrey, professeur émérite de psychologie différentielle à l'université Paris Descartes, Galton marque ainsi un tournant.

La philosophie dominante du moment était l'associationnisme,

l'idée que l'esprit à la naissance est une sorte de tablette de cire vierge sur laquelle viennent se déposer des impressions, des sensations qui sont les briques élémentaires de l'intelligence. L'homme connaît le monde en associant ces sensations élémentaires, sensations provoquées par les sons, par les lumières, etc. Les traces laissées par ces sensations sont baptisées les images mentales, et puis ces images mentales sont associées pour former les pensées. L'idée de départ est qu'il ne faut pas essayer d'étudier directement les phénomènes complexes, comme les idées, les images mentales. Il faut d'abord décomposer le problème et observer les sensations élémentaires. Par exemple, on présente une lumière ou un son à quelqu'un, et il doit réagir le plus vite possible. Et les adeptes de ce principe sont persuadés que ce sont les différences de perception dans ces sensations élémentaires qui permettent d'expliquer les différences d'intelligence. Comme si, finalement, plus précises sont les sensations, plus claires sont les idées[3].

Expérience de temps de réaction utilisant un chronoscope de Hipp et un chronomètre à gravité de Cattell. Fin XIXe siècle.

Francis Galton et ses contemporains, comme James McKeen Cattell

aux États-Unis ou Wilhelm Wundt en Allemagne, s'attachèrent donc à mesurer toutes les réactions possibles, la manière de réagir à un son, à une lumière ou même à la plus petite différence de poids entre deux objets.

Francis Galton s'est également rendu célèbre pour une autre invention : l'eugénisme. Son sujet favori, la mensuration, s'appuyait sur sa foi inébranlable dans le caractère héréditaire de presque tout ce qu'il pouvait mesurer. À cette époque où la génétique était balbutiante, Galton était persuadé que tous les comportements, les capacités et les aptitudes étaient déterminés par des caractères biologiques transmissibles, issus de l'évolution des espèces par sélection naturelle. Des idées qu'il développa dans son œuvre sur les caractères héréditaires de l'intelligence (*Hereditary Genius*, 1869) et qui justifiaient une idéologie de l'amélioration de l'espèce humaine habitée par l'obsession de la décadence. À cette époque, la prolifération des masses laborieuses à travers l'industrialisation et l'urbanisation inquiétait les élites victoriennes. Il fallait préserver les lignées qui possédaient les qualités physiques, morales et intellectuelles indispensables à la perpétuation de la société et du progrès. Galton définissait l'eugénisme comme la « science de l'amélioration des lignées [humaines], permettant de conférer aux races et aux souches les plus convenables une plus grande chance de prévaloir rapidement sur celles qui ne le sont pas ». L'eugénisme passait en premier lieu par la sélection des plus intelligents, comme il l'énonçait déjà en 1865 : « Si l'on mariait les hommes de talent à des femmes de talent […] on pourrait, génération après génération, produire une race humaine supérieure[4]. » Mais il fallait dans le même temps éradiquer les caractères jugés néfastes pour la société. Nous verrons plus tard comment les idéologies eugénistes se sont emparées de l'intelligence comme moyen d'action privilégié pour préserver la société de la dégénérescence.

Pour ce qui est de l'évaluation de l'intelligence, les différentes méthodes imaginées au XIXe siècle aboutirent toutes dans une impasse. À l'université de Columbia par exemple, James McKeen Cattell mesura les réactions de ses étudiants au son, à la lumière ou aux différences de poids. Il mit les résultats en rapport avec leur réussite dans les études universitaires et tenta à partir de ces corrélations de faire des prédictions, mais sans grand succès.

Les arguments craniométriques, qui mettaient en avant la taille du cerveau, perdirent eux aussi la plus grande partie de leur prestige, en

raison d'un problème… de taille. La comparaison du poids des cerveaux de nombreux hommes éminents débouchait sur des résultats paradoxaux. Si Tourgueniev franchissait la barre des 2 kg, Broca lui-même était à peine au-dessus de la moyenne avec 1,424 kg, tandis que Franz Josef Gall, fondateur de la phrénologie – 1,198 kg – et surtout l'écrivain Anatole France – 1,017 kg – avaient, pour leur part, de petits cerveaux. Le XXe siècle naissant préférera accorder ses faveurs à une méthode prétendument plus directe pour mesurer l'intelligence : les tests d'intelligence.

Mesurez votre temps de réaction

Voici un petit exercice simple à réaliser, pour évaluer vous-même votre temps de réaction. Pour cela, munissez-vous d'une règle graduée de un mètre de long, et assurez-vous de l'assistance d'un ami. Demander à cette personne de se placer face à vous, debout, et de tenir la règle verticalement, par le haut, tandis que vous, assis sur une chaise, vous placerez votre main en dessous, sans la toucher.

Dès que votre ami lâche la règle, vous devez l'attraper le plus vite possible. Regardez alors la graduation sur laquelle votre pouce s'est arrêté, par exemple 23 cm. Ce chiffre indique la distance parcourue par la règle durant sa chute.

Vous pouvez alors calculer le temps de chute (t), qui est aussi, approximativement, votre temps de réaction. Pour cela, utilisez, à l'aide d'une calculatrice, la formule classique de l'équation horaire de la chute d'un corps sans vitesse initiale :

$d = ½\ gt^2$ donc $t = \sqrt{(2d \div g)}$

d = distance en mètres (soit dans notre exemple 0,23)

g = constante d'accélération de la pesanteur toujours égale à 9,81

t = temps de chute en seconde

Si, lorsque vous rattrapez la règle, celle-ci a parcouru 23 cm, votre temps de réaction sera alors de $\sqrt{(2 \times 0{,}23 \div 9{,}81)} = 0{,}2165$ secondes, soit 216,5 millisecondes.

Effectuez le test cinq fois, et regardez si votre temps de réaction moyen est compris entre 200 et 250 millisecondes, qui représentent la fourchette normale.

Les premiers tests de Binet et Simon

Alfred Binet, directeur du laboratoire de psychophysiologie de la Sorbonne, était assez critique vis-à-vis des aliénistes, les psychiatres de l'époque. Ces derniers jugeaient du retard intellectuel en faisant de grandes catégories. Il y avait les idiots, atteints d'arriération profonde, puis les imbéciles, et ensuite les débiles. Binet trouvait leurs critères tout à fait contestables, très vagues et très différents d'un psychiatre à l'autre. Il estimait qu'il fallait mettre au point un instrument d'évaluation qui s'appuierait sur des critères scientifiques. Lorsqu'il décida pour la première fois d'étudier l'intelligence, il commença par mesurer les crânes, sans mettre un seul instant en doute les conclusions de son compatriote Paul Broca.

Mais au bout de cinq études sur des écoliers, Binet réalisa que la méthode de Broca n'était pas la bonne : les écarts de la taille des crânes entre les bons et les mauvais élèves étaient beaucoup trop petits. Il abandonna ce qu'il appelait les approches médicales de la craniométrie et décida d'appliquer des méthodes psychologiques. Quelques années plus tard, en 1904, quand le ministère de l'Instruction publique le chargea de réaliser une étude pour dépister les enfants en difficulté scolaire, il synthétisa ses travaux, avec l'aide du médecin Théodore Simon, pour mettre au point un test psychologique permettant d'évaluer l'intelligence.

Dans ce premier test, il rassembla un large éventail d'épreuves, en relation avec les problèmes de la vie quotidienne, mais qui, selon lui, faisaient appel à des processus fondamentaux du raisonnement, comme nous l'explique Jacques Lautrey.

> Il a eu deux idées originales par rapport à ses contemporains. D'abord, il a pensé que pour pouvoir évaluer les différences d'intelligence entre les individus, il fallait plutôt s'adresser aux processus supérieurs : les capacités de raisonnement, la compréhension, les capacités de mémoire, de jugement. Mais comment mesurer le jugement, les capacités de mémoire ? Et là, il a eu une deuxième idée originale, celle de simplement s'appuyer sur le développement et de trouver, pour chaque âge, les problèmes qui lui sont caractéristiques. Il entreprit alors d'interroger des enfants sur des situations qui, à l'époque,

paraissaient tout à fait bizarres pour évaluer l'intelligence, par exemple, en leur présentant une image et en leur demandant : qu'est-ce que ça représente ?

GravuredutestdeBinet-Simon,1904.

Il a alors remarqué que les enfants de trois ans énumèrent ce qu'il y a dans l'image : il y a un monsieur, un banc, un arbre. Vers sept ans, ils décrivent l'image : c'est un monsieur et une dame qui sont assis sur un banc. Puis, vers douze ans, ils l'interprètent : ce sont des malheureux, ou bien, le monsieur est malade. À partir de quoi, un enfant de dix ans qui réussit toutes les épreuves caractéristiques de son âge est un enfant dont on dira qu'il a un âge mental de dix ans. S'il a un âge chronologique de dix ans, ça veut dire que l'âge chronologique et l'âge mental coïncident et que par conséquent il est à l'heure. S'il a réussi les épreuves qui sont caractéristiques de douze ans, à ce moment-là, il a deux ans d'avance par rapport à son âge chronologique[5].

Binet et Simon attribueront un niveau d'âge à chaque épreuve

qu'un enfant d'intelligence normale devait être capable d'accomplir avec succès. L'enfant commençait le test par les épreuves de l'âge le plus jeune et poursuivait la série jusqu'à ce qu'il ne puisse plus remplir les tâches demandées. L'âge associé à ces dernières épreuves devenait son âge mental.

Un psychologue allemand, William Stern, a ensuite pensé que pour tenir compte de la relation entre l'âge chronologique et l'âge mental, il fallait établir un rapport entre les deux. Ainsi, pour un enfant de dix ans réussissant les épreuves de douze ans, on posera l'opération 12 (douze ans, l'âge mental) divisé par 10 (dix ans, l'âge chronologique). Ce qui donne un quotient intellectuel de 1,2. Un peu plus tard, Lewis Madison Terman, qui fut l'un des premiers à adapter les tests Binet-Simon aux États-Unis, fit sauter les décimales en multipliant 1,2 par cent, obtenant ainsi 120. Un enfant doté d'un QI de 100 est « à l'heure » : il réussit les épreuves de son âge. Un enfant qui obtient 120 présente une certaine avance de développement.

Le QI classique

$$\frac{\text{Âge mental}}{\text{Âge réel}} \text{ X } 100 = \text{QI}$$

Le quotient intellectuel (ou QI) était né, sésame d'une supposée intelligence générale, située dans le cerveau, et qu'il serait enfin possible de mesurer.

TESTS BINET-SIMON

Feuille de niveau (1)

NOM ET PRÉNOMS..... .....

Date de naissance..... *Date de l'examen*.....

Âge à la date de l'examen..... *Âge d'intelligence*.....

3 ans

* Donner nom de famille.
* Répéter 2 chiffres.
* Énumérer une gravure.
* Répéter phrase 6 syllabes.

Montrer nez, œil, bouche.

4 ans

* Répéter 3 chiffres.

Donner son sexe.
Nommer clé, couteau, sou.
Comparer 2 lignes.

5 ans

* Répéter phrase 10 syllabes.
* Compter 4 sous simples.

Comparer 2 poids.
Copier un carré.
Jeu de patience.

6 ans

* Compter 13 sous simples.
* Définir par l'usage.

Distinguer matin et soir.
Copier un losange.
Comparaisons esthétiques.

7 ans

* Décrire une gravure.
* 9 sous, dont 3 doubles.

Main droite, oreille gauche.
Nommer 4 couleurs.
Exécuter 3 commissions.

8 ans

* Répéter 5 chiffres.

2 objets de souvenir.
Compter de 20 à 0.
Lacunes de figures.
Date du jour.

9 ans

* Reconnaître pièces de monnaie.
* Rendre sur 1 fr.
* Définir supérieurement à usage.
* Questions faciles.

Énumérer les mois.

10 ans

* Questions difficiles.

Ordonner 5 poids.
Deux dessins de mémoire.
Critiquer phrases absurdes.
3 mois en 2 phrases.

12 ans

3 mots en une phrase.
Résister à suggestion de lignes.
Plus de 60 mots en 3 minutes.
Définir mots abstraits.
Deviner le sens de phr. en désordre.

15 ans

* Répéter 7 chiffres.
* Répéter phrase de 26 syllabes.
* Interpréter une gravure.

Trouver 3 rimes.
Problèmes de faits divers.

Adultes

Épreuve de découpage.
Reconstruire un triangle.
Différences de mots abstraits.
Roi et Président.
Pensée d'Hervieu.

(1) *Les épreuves marquées d'un astérisque sont celles de la première feuille d'interrogatoire.*

Manuel de tests Binet-Simon, 1904.

1. Paul Broca, « Sur le volume et la forme du cerveau suivant les individus et suivant les races », *Bulletin de la société d'anthropologie*, t. II, 1861.

2. Charles Darwin, *The Descent of Man*, 1871.

3. Jacques Lautrey, entretien réalisé le 23 avril 2015.

4. Francis Galton, « L'hérédité du talent et du caractère », *Macmillan's Magazine*, 1865.

5. Jacques Lautrey, entretien réalisé le 23 avril 2015.
6. Josef Schovanec, entretien réalisé le 24 mars 2015.
7. Jacques Lautrey, entretien réalisé le 23 avril 2015.
8. Les solutions se trouvent en fin d'ouvrage, p. 233.

CHAPITRE 3

Le QI, un outil de référence… imparfait

Le QI est devenu l'outil de référence, le seul d'une certaine manière, dès lors qu'il s'agit d'étudier l'intelligence. Quelle que soit la manière dont les tests d'intelligence sont élaborés, passés, analysés, il reste le mètre étalon pour tous les types d'études. Quels rôles jouent l'éducation, le milieu social, la nourriture, le sommeil, la génétique, Internet sur l'intelligence ? Quel que soit le critère dont on veut étudier l'impact, il faut le mettre en rapport avec les différences d'intelligence entre individus, différences évaluées par des tests psychologiques. Comprendre la nature de ces outils, comment ils sont construits, ce qu'ils mesurent vraiment et ce qu'ils ne mesurent pas, s'avère donc essentiel.

La révolution des tests

Avant les travaux d'Alfred Binet et de Théodore Simon, la plupart des scientifiques qui étudiaient l'intelligence ne pensaient pas pouvoir mesurer autre chose que la perception sensorielle (seuils de détection, vitesse de discrimination). Les activités mentales dites « de haut niveau », comme le raisonnement ou le calcul, étaient considérées comme trop floues, et leur mesure aléatoire. En présentant la première version de son échelle métrique de l'intelligence, Binet a révolutionné la psychologie de l'intelligence en inventant un nouveau paradigme. Au centre de l'étude de l'intelligence, il place l'analyse de l'activité, des comportements, des performances intellectuelles comme qualités dynamiques mises en œuvre

pour résoudre des tâches. Il définit la psychologie comme science de l'action, et l'intelligence comme un ensemble de fonctions qui permettent l'adaptation à des situations nouvelles.

Paradoxalement, ses travaux auront un impact très limité en France, entre résistance à accepter l'idée que l'on puisse sérieusement mesurer quelque chose d'aussi complexe et subtil que l'intelligence, et réticence corporatiste, voire hostilité, des psychiatres et des médecins à changer leurs pratiques. En revanche, dans les pays où la psychologie connaissait un développement plus significatif qu'en France, le test Binet-Simon s'imposa, en particulier aux États-Unis. C'est un obscur psychologue, Henry Goddard, qui découvrit l'échelle métrique, lors d'un voyage d'étude en Europe en 1908. Il en fera une adaptation pour les États-Unis et en deviendra l'un des plus ardents propagandistes. Il milita pour la promotion d'une campagne de dépistage systématique de la débilité mentale dans les écoles ; il fit appliquer le test dans le but de sélectionner les émigrants qui voulaient entrer en Amérique, à Ellis Island ; et il réussit même à l'imposer devant une cour de justice en 1914. Le point culminant de cette vague de *testing* fut atteint lorsqu'une version du Binet-Simon, baptisé test Alpha, fut utilisé comme standard par l'armée américaine. Conçu pour mesurer les compétences des futurs soldats et pour déterminer leur emploi dans l'armée, il permit de tester quelque 1 750 000 recrues en un peu plus d'un an. Les résultats obtenus constituèrent une formidable base de données, dont l'étude offrit aux chercheurs l'occasion de proposer de nouvelles théories sur l'intelligence.

Le facteur G

Au début du XXe siècle, une théorie, émise en 1904 par Charles Spearman, avait la faveur de nombreux chercheurs. Le psychologue anglais était convaincu que l'intelligence devait influencer tous les types de tâches, sensorielles ou de plus haut niveau. Pour tester son hypothèse, il fit passer à ses élèves un ensemble d'épreuves sensorielles et de raisonnement. En analysant les données, il mit au jour une corrélation entre tous les résultats, parfois faible, mais bien réelle. Il baptisa ce facteur de corrélation « le facteur G d'intelligence ». De fait, parmi tous les élèves de Spearman qui avaient passé les tests, ceux qui affichaient un meilleur « G » obtenaient, en général, de meilleurs résultats dans tous les tests, une meilleure mémoire, une plus grande vitesse de traitement, une

distinction accrue des sons, etc. Mathématiquement, les résultats de Spearman sont indiscutables : « G » existe. Mais peut-on dire pour autant que « G » est l'intelligence ? Cette dernière ne serait alors qu'une capacité unique, unidimensionnelle, comme la taille ou le poids.

Cela reviendrait à dire que nous utilisons une seule et même compétence pour répondre aux trois questions suivantes que je soumets à votre sagacité :

1. Quel est le nombre maximal et la position mutuelle des orbites périodiques isolées pour une équation différentielle polynomiale plane de degré donné ? (Question plus connue sous le nom de deuxième partie du seizième problème de Hilbert.)

2. Que signifie la phrase suivante ? « Il n'y eut personne qui ne put nier que le contraire n'eut été immérité. »

3. Si vous invitez une femme pasteur à un dîner officiel, à quelle place devez-vous l'installer ?

– place d'honneur n° 1 : à droite du maître de maison

– place d'honneur n° 2 : à gauche du maître de maison

– place d'honneur n° 3 : à droite du monsieur qui est à droite de la maîtresse de maison

– place d'honneur n° 4 : à gauche du monsieur qui est à gauche de la maîtresse de maison

– place d'honneur n° 5 : à droite du monsieur qui est à droite de la place n° 1

– place d'honneur n° 6 : à gauche du monsieur qui est à gauche de la place n° 2

Face à une telle variété de problèmes (d'aucuns préféreront peut-être se pencher sur la plomberie), certains scientifiques ont estimé que la définition académique de l'intelligence comme compétence unique n'était pas adaptée.

L'ÉCHELLE DE WECHSLER

Ce fut le cas d'un jeune psychologue, David Wechsler, qui aidait à évaluer les recrues de l'armée américaine durant la Première Guerre mondiale. En remarquant les faiblesses du test Alpha, Wechsler remit en cause la théorie de Spearman qu'il jugeait trop simpliste, comme

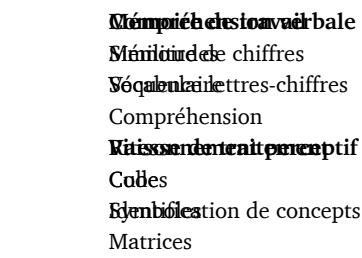
l'explique Jacques Lautrey :

> Wechsler avait remarqué que certains individus affichaient des performances très différentes selon qu'ils devaient ou non utiliser le langage. En effet, on s'était rendu compte à cette époque-là qu'il fallait faire au moins deux tests différents : un test dans lequel on utilisait le langage, le test Alpha, et un autre, non verbal, le test Bêta, pour les hommes qui soit étaient analphabètes, soit maîtrisaient mal la langue anglaise. Et du coup, quand il a construit son échelle d'intelligence, Wechsler a fait deux parties : une partie avec des épreuves verbales, le vocabulaire, par exemple, la compréhension de phrases, et une partie non verbale, qu'on appelait de performance où il fallait, par exemple, reconstruire une figure à l'aide de petits cubes. Donc là, déjà, s'instaurait une distinction entre deux formes, ou deux aspects de l'intelligence[1].

Wechsler commença à élaborer une batterie de tests pour établir une nouvelle échelle d'intelligence. Il publia en 1938 le Wechsler-Bellevue Intelligence Sale (WBIS) puis le Wechsler Intelligence Scale for Children (WISC) en 1949. En 1955, il développa un autre test d'intelligence pour les adultes, le Wechsler Adult Intelligence Scale (WAIS). Les psychologues continueront à améliorer ces deux tests, le WISC et le WAIS, avec des techniques de construction et de validation de plus en plus sophistiquées. Régulièrement mis à jour pour rester en adéquation avec l'évolution de la société et de la culture, ce sont aujourd'hui encore les tests les plus répandus. En France, plus de 80 % des psychologues s'en servent dans leur pratique clinique.

Dans les années 1930, parallèlement à Wechsler, Louis Leon Thurstone, un autre psychologue américain, remit en cause les théories dominantes sur l'intelligence. Ingénieur de formation, il se rendit compte de la faiblesse de ses confrères dans l'utilisation des outils statistiques. En améliorant les aspects logiques et mathématiques des méthodes d'analyse des tests, il remarqua que les résultats à certaines épreuves étaient plus corrélés que d'autres. Il dénombra ainsi une douzaine d'aptitudes primaires de l'intelligence, qu'il regroupa en cinq facteurs spécifiques : numérique, verbal, spatial, fluidité verbale, raisonnement.

Tous ces travaux réalisés dans la première partie du XXe siècle firent progresser les théories sur l'intelligence en ouvrant de nouvelles voies notamment avec l'émergence de modèles où l'intelligence apparaissait comme l'assemblage de différentes compétences, et non plus comme une compétence unique. Cette conception se retrouve dans la manière dont les tests d'intelligence sont élaborés. Par exemple, le WISC-IV (Wechsler 2005) est constitué de plusieurs épreuves, regroupées entre elles pour calculer quatre indices spécifiques : compréhension verbale, raisonnement perceptif, vitesse de traitement et mémoire de travail.

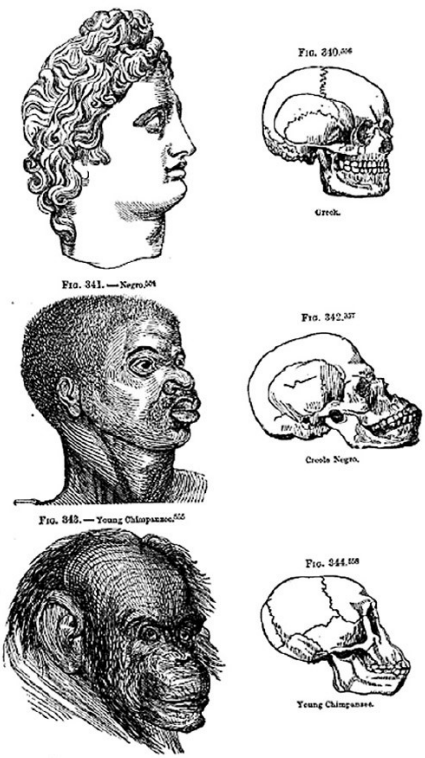


Un tel test doit permettre une analyse plus fine du type d'« intelligence » de la personne évaluée. Intelligence entre guillemets, car aujourd'hui le terme apparaît vraiment trop connoté en psychologie cognitive. Il est plutôt question de performances dans différents domaines, comme les fonctions exécutives, la flexibilité, le contrôle, la vitesse de traitement, la mémoire de travail, le raisonnement. Nous verrons plus loin ce que ces nouvelles conceptions d'une intelligence multifactorielle ont engendré comme théories de l'intelligence.

Le QI à l'épreuve des idéologies

L'autre fait marquant de l'utilisation des tests psychologiques pour mesurer l'intelligence est la transformation de cet outil de mesure scientifique en véritable modèle du fonctionnement cognitif : au début du XXe siècle, les psychologues considéraient l'homme comme un individu raisonnant selon les schémas statistiques propre au QI. La vérité de l'esprit était dans les chiffres. Mais au service de quelles idées ?

N’oublions pas que ce début de siècle restait profondément marqué par le déterminisme biologique. Souvenons-nous de Galton qui pensait que la nature était bien plus importante que l’environnement pour expliquer les différences d’intelligence entre individus. Rappelons-nous aussi que Broca voyait en elle un moyen de distinguer les races inférieures des races supérieurs.



Dessins provenant d’*Indigenous races of the earth* de Josiah C. Nott et George Gliddon, 1857.

A priori, les scientifiques sont plus influencés par les faits que par les idées. Mais l’histoire de l’étude de l’intelligence nous montre que, bien qu’il fût difficile, voire impossible, d’apporter des preuves de l’origine purement héréditaire de l’intelligence, les scientifiques étaient marqués par les préjugés de leur époque. Goddard, Terman, Spearman et bien

d'autres étaient convaincus que l'intelligence, comme la plupart des caractéristiques humaines d'ailleurs, se trouvait bien plus déterminée par la génétique que par l'environnement. Par un détournement de la théorie darwinienne, ces chercheurs postulaient une distorsion, un effet « dysgénique » engendré par les sociétés d'abondance. La qualité des soins, l'aide sociale permettaient à un nombre croissant de pauvres, de déficients mentaux, et donc d'individus « faibles » de survivre, alors que si la sélection naturelle avait fait son œuvre, ceux-ci auraient été éliminés, et leurs gènes défectueux avec, compte tenu de leur inaptitude à survivre. De leur côté, les classes les plus aisées, l'élite sur laquelle reposait l'avenir de la civilisation, faisaient moins d'enfants et devenaient de plus en plus minoritaires. Heureusement, l'eugénisme de Galton allait sauver la société, et le QI constituait un excellent outil pour y parvenir.

L'EUGÉNISME PARTOUT À L'ŒUVRE

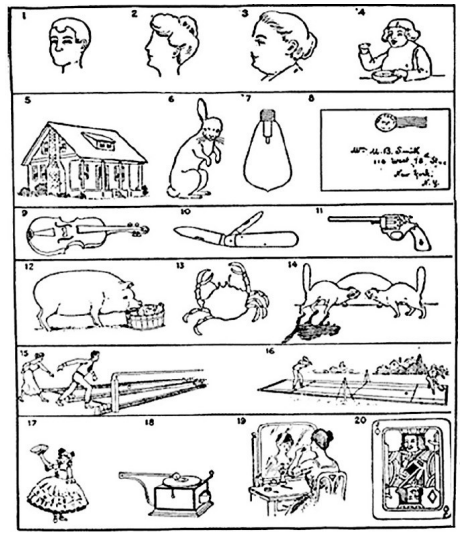
Généralement, l'eugénisme évoque d'abord l'Allemagne nazie qui mit en place dès 1933 un programme pour prévenir la reproduction des indésirables : criminels, handicapés physiques ou mentaux, homosexuels, sourds et aveugles de naissance, alcooliques, Juifs, Tziganes, Noirs ou Slaves. Le pendant de ce programme, le Lebensborn, était chargé de la promotion de la fécondité, grâce à quoi des femmes jugées bonnes « Aryennes » s'accouplaient à des SS pour mettre au monde une race pure. Ces enfants devaient être élevés dans le but de constituer l'élite future de l'« empire de mille ans ».

Mais en réalité, le premier pays à avoir mis en place une politique eugéniste basée essentiellement sur le QI fut les États-Unis. En 1907, l'État de l'Indiana adopta la première loi autorisant la stérilisation obligatoire des « dégénérés » (génétiquement inférieurs) et des criminels. En 1909, la Californie, le Connecticut et l'État de Washington suivirent, si bien qu'en 1917, quinze États avaient déjà voté des lois de ce type. Mais le QI ne fut pas utilisé uniquement pour détecter certaines formes de « pathologies » mentales ou sociales.

Les données accumulées lors des fameux tests Alpha réalisés dans l'armée fournirent aux scientifiques une formidable base de données, qui leur permit de comparer les divers groupes composant la société américaine, notamment les différences entre les Noirs et les Blancs, les relations entre ces deux communautés étant, aux États-Unis, un problème

sérieux. Mais la comparaison se fit également entre les groupes d'immigrés, venus d'Europe du Nord, d'Europe de l'Est et d'Europe du Sud. Et les scientifiques constatèrent que les immigrés venant d'Europe du Nord avaient en moyenne de meilleures performances aux tests que ceux qui venaient d'Europe de l'Est et d'Europe du Sud. Ils en conclurent que ces disparités étaient liées à la différence des « races », oubliant totalement que ceux qui venaient d'Europe du Nord faisaient partie des premières vagues d'immigration. Ils étaient donc depuis plus longtemps acclimatés à la culture nord-américaine et donc moins désarçonnés par les questions qu'on leur posait. Mais les psychologues qui ont exploité ces données ont considéré que les immigrés venus d'Europe du Sud ou d'Europe de l'Est avaient des capacités intellectuelles moindres en raison de leur patrimoine génétique. Ils constituaient donc un danger pour les États-Unis : ils allaient faire baisser le niveau moyen d'intelligence des citoyens américains. En 1924, une loi fut donc votée, le Restriction Act, pour limiter l'immigration issue de ces deux parties de l'Europe. Et c'est ainsi qu'un certain nombre de citoyens européens furent refoulés, notamment les Juifs d'Europe de l'Est qui, dans les années 1930, commençaient à fuir la montée du nazisme.

Pour comprendre l'absurdité de la toute-puissance accordée au QI à l'origine, il suffit d'observer le tableau suivant où l'on retrouve le type de questions posées aux immigrés. Ceux-ci devaient regarder les images et dire s'il manquait un élément. Imaginez un immigré illettré venu d'une campagne polonaise, épuisé par une vie de misère, débarquant au terme d'un long et périlleux voyage, face à des officiers de l'immigration qui lui posent des questions dans une langue qu'il ne comprend pas. Et là, en regardant le dessin n° 15, il doit deviner qu'il manque une boule de bowling, un jeu dont il ignore l'existence, ou dire qu'il manque le filament d'une ampoule dans le dessin n° 7, alors qu'il ne sait même pas qu'on a inventé l'électricité. Pourtant, à partir de ses réponses, on va évaluer son niveau intellectuel, et dire s'il est digne d'entrer aux États-Unis, s'il présente un quelconque intérêt pour la société.



Test de QI de l'armée américaine, Army Beta, 1917.

L'idée d'adapter le test à la personne, au contexte, de pondérer les réponses en fonction de critères comme la scolarité ou la culture n'effleurait pas les psychologues de l'époque. Les données du test étaient justes, forcément. Et le chiffre obtenu par le candidat ne pouvait que refléter la vérité.

Pendant l'entre-deux-guerres, plusieurs États européens votent à leur tour des textes similaires : la Suisse en 1928, le Danemark en 1929, la Norvège en 1934, la Finlande et la Suède en 1935. On pourrait croire que cette vision déterministe et raciste date d'un autre temps et qu'elle s'est éteinte avec les idéologies fascistes pendant la Seconde Guerre mondiale, mais il n'en est rien.

Un outil de sélection

De ce point de vue, l'affaire Cyril Burt est révélatrice. Ce psychologue britannique, conseiller au ministère de l'Éducation nationale, était lui aussi convaincu que l'intelligence est héréditaire et qu'elle ne dépend ni de l'environnement, ni de l'éducation. En s'appuyant sur différentes études qu'il a publiées entre 1943 et 1966, il influença considérablement

le système éducatif anglais. Il fit en sorte que l'admission au collège soit conditionnée à la réussite de tests de l'intelligence. Là encore, le QI était utilisé systématiquement comme marqueur de l'origine sociale ou ethnique. Après la mort de Cyril Burt, en 1971, des chercheurs découvrirent qu'il avait falsifié les résultats en modifiant les chiffres, ou en inventant des sujets qui auraient participé à ses tests. Il était tellement convaincu de la validité de ses idées et du bienfait de leur application, qu'il était prêt à tout pour qu'elles soient mises en œuvre, empêchant au passage des dizaines de milliers de jeunes Britanniques de choisir librement leurs études, leur vie.

Il faudra attendre les années 1970 pour que les pays où les programmes eugénistes furent appliqués de la manière la plus intensive – la Suède, le Canada, et les États-Unis – abolissent leurs législations. Au Canada, par exemple, dans l'État d'Alberta, un programme eugéniste de stérilisation forcée, le Sexual Sterilization Act of Alberta, promulgué en 1928, ne fut abrogé qu'en 1972 après qu'il eut dévoilé sa véritable nature au grand public suite à l'affaire Leilani Muir. Cette jeune femme découvrit qu'elle avait été stérilisée à son insu à l'âge de quatorze ans. Après lui avoir fait passer un test de QI qui lui donnait un score inférieur à 70 – et la classait donc dans la catégorie des « débiles légers » –, les autorités estimèrent qu'il valait mieux, pour la société, qu'elle ne puisse jamais avoir d'enfants. Depuis, son QI a été considéré comme normal.

Chez le voisin américain, la situation était identique. En 1964, aux États-Unis, plus de 60 000 personnes avaient subi une stérilisation obligatoire, dont pratiquement la moitié pour cause d'arriération mentale estimée à l'aide du QI. Pour comprendre l'état d'esprit qui régnait à l'époque outre-Atlantique, voici un extrait d'une émission de débats, le *Tony Brown's Journal*, diffusée sur une grande chaîne nationale de télévision en 1974. William Shockley, prix Nobel de physique et inventeur du transistor, venait y présenter les résultats des recherches qu'il avait entreprises, dans un domaine tout nouveau pour lui : l'intelligence.

> Tony Brown [journaliste-présentateur de couleur] : Dr Shockley, si vous pouviez répondre par oui ou par non, j'apprécierais. Pensez-vous que les personnes noires sont inférieures en intelligence à cause de leur hérédité ?
> William Shockley : Ce que je dis, c'est que mes recherches m'ont conduit, et c'est une conclusion tragique, vraiment, mes

> recherches m'ont conduit à la conclusion que la principale cause des déficits intellectuels et sociaux des Noirs américains est héréditaire, et qu'elle a des origines raciales et génétiques, et qu'il n'y a aucun moyen d'y remédier même en améliorant l'environnement.
> Tony Brown : Mais que voyez-vous comme solution à ce problème ?
> William Shockley : Je propose une prime à tous ceux qui se feraient stériliser. Cette offre est basée sur l'estimation scientifique de toute déficience d'origine génétique.

Le professeur Shockley donna une série de conférences dans le pays pour présenter son travail. Partout, il était reçu par des manifestants qui n'hésitaient pas à le traiter de nazi. À cette époque, pas si lointaine, le mètre étalon pour mesurer l'utilité sociale d'un individu, la qualité qui fondait les hiérarchies, restait plus que jamais l'intelligence, dont la conception était toujours très fortement influencée par l'hérédité. Entre l'époque victorienne et les années 1970, l'idée était restée la même, seul l'outil d'évaluation avait changé. On était simplement passé des mesures physiques (taille du crâne, poids du cerveau) aux mesures psychologiques.

Le QI ne fut bien évidemment pas à l'origine de telles opinions, de telles législations, mais il fut utilisé pour les justifier. Il traîne depuis une réputation sulfureuse. Ses détracteurs voient en lui, derrière l'apparente objectivité des tests, une façon déguisée d'opérer des sélections dans la société pour justifier l'ordre établi, comme le résume très bien Josef Schovanec. Diplômé de Sciences-Po, docteur en philosophie, écrivain, il est atteint du syndrome d'Asperger, une forme d'autisme qui peut cohabiter avec un QI élevé. Ce syndrome a été popularisé par le personnage de *Rain Man,* incarné par l'acteur américain Dustin Hoffman.

> Je fais partie de ces enfants qui étaient promis à la poubelle. Pendant très longtemps, on nous a dit que les personnes autistes étaient déficientes intellectuelles. Déficience intellectuelle et autisme étaient considérés comme synonymes, alors qu'aujourd'hui, on sait bien que ce n'est pas le cas. Chaque société humaine a besoin d'un certain nombre de hiérarchies, a besoin que les gens se démarquent un peu des

> autres et on a tendance à résumer un peu tout par un critère unique. Aux États-Unis, ce qui fonde les qualités humaines et les hiérarchies, c'est le QI ; en France, c'est tel ou tel concours administratif ; sous la Chine impériale, c'étaient les fameux concours de mandarinat. Mais tout ça repose sur une idée centrale qui est fausse, à savoir qu'il y aurait une échelle unique de l'humanité, et forcément celui qui prône ce genre de théories se place lui-même tout au sommet, c'est toujours ainsi[6].

La publication du livre *The Bell Curve* illustre fort bien les propos de Josef Schovanec. Vingt ans après William Shockley, en 1994, ce livre, rédigé par deux auteurs américains, le psychologue Richard J. Herrnstein et le politologue Charles Murray, provoqua un tollé. Les auteurs avaient croisé les scores de QI de 10 000 Américains avec leur niveau d'études, leurs revenus, leur métier, leurs origines, le taux de criminalité, afin d'établir toutes sortes de corrélations. Leur constat était sans appel. Les structures sociales et politiques étaient dominées par une élite « cognitive » dont le QI était l'exacte mesure. Ils l'expliquaient par l'évolution de la société. Selon eux, les personnes bénéficiant d'un QI élevé, les plus aptes à faire de longues études, s'étaient progressivement trouvées, année après année, décennie après décennie, sélectionnées par les universités, puis les entreprises, pour occuper les meilleurs postes. Le système économique des sociétés modernes récompensait et valorisait avant tout l'intelligence. Et cette élite, vivant et travaillant dans l'entre-soi, forma un nouveau groupe, endogame, une aristocratie dont les scores de QI apparaissait comme des quartiers de noblesse. Mais le plus marquant est qu'une fois de plus, pour cette élite, le QI – donc l'intelligence – se révélait essentiellement d'origine génétique. Ils ressuscitèrent au passage le racisme scientifique, dont le cadavre était à peine tiède. Ils passèrent en revue la littérature scientifique pour soutenir que les Asiatiques arboraient un QI légèrement supérieur à celui des Blancs, lui-même supérieur à celui des Hispaniques, lequel restait supérieur à celui des Noirs. Le QI moyen de ces derniers était constamment inférieur d'au moins quinze points à celui des Blancs. Là encore, comme le prônait déjà Shockley, impossible de modifier cette hiérarchie. Aucune aide sociale, aucune amélioration de l'environnement ne pouvait avoir d'effet significatif.

QI et intelligence : l'impossible adéquation

À nouveau, la polémique fit rage. D'éminents chercheurs s'accordaient sur le fait que le QI offrait un bon indicateur de la réussite sociale et professionnelle, d'autres se disaient plus mitigés, notamment sur l'aspect génétique et racial. Le célèbre paléontologue Stephen Jay Gould fournit la critique la plus intéressante, grâce à quatre questions de bon sens :

- Peut-on résumer l'intelligence à un chiffre ?
- Le critère de l'intelligence peut-il permettre de classer des personnes de manière linéaire ?
- L'intelligence est-elle essentiellement déterminée par les gènes ?
- L'intelligence est-elle immuable ?

Selon Gould, si la réponse à l'une de ces questions est négative, alors tous les arguments développés dans *The Bell Curve* s'effondrent. Tentons, plus de vingt ans après, de répondre à ces interrogations.

Peut-on résumer l'intelligence au seul QI ?

La réponse de Jacques Lautrey, l'un des grands spécialistes de l'intelligence et de son évaluation, est sans appel.

> Le problème du QI est qu'il entremêle de nombreux aspects, et qu'il donne une sorte de moyenne de l'ensemble – parfois hétérogène. On situe ensuite l'individu du point de vue de cet ensemble, comme une sorte de résultante. Cet aperçu moyen, global, masque de nombreuses variables : à la fois des capacités de mémoire, une aisance dans le maniement du langage, des capacités de raisonnement. Mais dire que le QI est l'intelligence, cela signifie que l'on sait précisément ce qu'est l'intelligence, or si on était capable de la définir, elle ferait l'objet d'une théorie, ce qui n'est pas le cas. On a juste des modèles du fonctionnement de l'intelligence[7].

En résumé, on peut faire dire ce que l'on veut au QI. Effectivement, un QI élevé permet, dans la plupart des cas, d'affirmer de quelqu'un qu'il jouit de bonnes capacités intellectuelles, donc qu'il est intelligent. Jean Frêne en fournit un exemple célèbre. Neuvième d'une famille de onze enfants, Jean Frêne a quitté l'école à quatorze ans pour aider ses parents au travail de leur petite ferme de onze hectares à Longes, dans le Rhône. En 1961, il passe les examens des fameux « trois jours » dont se

souviennent ceux qui ont vécu l'époque du service militaire obligatoire. Lors des tests de psychométrie, ses résultats sont tellement spectaculaires qu'il est soupçonné de tricherie. Il les repasse, sous la surveillance d'une sentinelle, et ses résultats sont encore meilleurs. Les médecins mesurent un niveau d'intelligence tout à fait exceptionnel. Un sursis lui est accordé pour qu'il puisse étudier. En quatre mois, il rattrape plus de quatre années de mathématiques. Cinq ans plus tard, il décroche un diplôme d'ingénieur en mécanique des contacts, puis un doctorat, avant de devenir un spécialiste mondialement reconnu de tribologie (branche du génie mécanique qui s'intéresse aux frottements et à l'usure), discipline pour laquelle il a reçu de nombreuses médailles scientifiques. Jean Frêne est ce qu'on appelle un surdoué. Dans de tels cas, QI et intelligence sont indubitablement liés. Mais pour autant, nous ne savons pas mesurer l'intelligence dans toute sa complexité. Les tests de QI, ou échelle d'intelligence, ou évaluation psychométrique – peu importe le nom qu'on leur donne – sont des outils ne revêtant qu'une valeur indicative. Ils ne mesurent que certains aspects de l'intelligence, la dimension logique et mathématique, la mémoire, mais pas sa globalité.

Si Alfred Binet affirmait que « l'intelligence, c'est ce que mesurent mes tests », le sociologue Edgar Morin lui répond que « l'intelligence, ce n'est pas ce que mesurent les tests, c'est aussi ce qui leur échappe ». C'est la raison pour laquelle les psychologues, seuls habilités à faire passer les tests de QI, évaluent aussi la personnalité ou les compétences émotionnelles. Le QI en lui-même ne veut rien dire. Pour que ce chiffre ait un sens, il faut le mettre en rapport avec le passé de l'individu, ses aspirations, ses motivations. Il faut également tenir compte de l'état dans lequel l'individu se trouve au moment où il passe le test et de la façon dont il s'y prend. Et c'est seulement à l'aide de toutes ces informations que le psychologue pourra proposer une « cartographie » de ses capacités intellectuelles, c'est-à-dire comment est structuré son esprit et quels chemins il emprunte pour fonctionner.

Si le QI n'est pas l'intelligence, alors il semble évident, pour répondre à la seconde objection de Stephen Jay Gould, qu'il ne permet pas non plus de classer les individus de façon linéaire. Beaucoup perdent de vue que le QI n'indique que le rang d'un individu par rapport à un échantillon représentatif. Souvenons-nous des travaux de Binet et de Wechsler. Leurs tests ne prétendaient pas mesurer l'intelligence de manière absolue, ils

permettaient uniquement d'établir un classement. Le QI n'est rien d'autre finalement que la position d'un individu par rapport aux performances de son groupe de référence. Son groupe de référence étant défini par les gens qui sont comme lui, c'est-à-dire du même âge et issus du même milieu culturel. Dès lors, vouloir comparer des individus de cultures ou d'époques différentes n'a guère de sens.

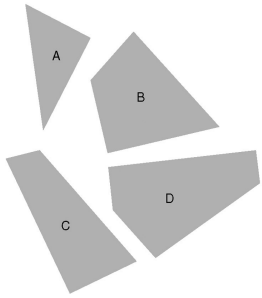
Que penser des tests de QI dans les magazines ou sur Internet ?

Les tests de QI ne connaissent pas la crise et il est difficile de leur échapper : magazines ou sites Internet en proposent à foison. Si vous aimez jouer aux échecs, résoudre des problèmes ou des casse-tête, amusez-vous, ils sont parfaits pour ça. Si vous voulez évaluer votre intelligence, méfiez-vous-en comme de la peste : ils n'ont qu'un aspect ludique. Un travail sérieux d'évaluation de vos compétences intellectuelles, réalisé par un psychologue compétent, nécessite plusieurs heures réparties entre l'entretien préalable, la passation du test – qui se fait généralement en deux phases – l'analyse et la présentation des résultats. N'oubliez jamais que ces évaluations ne sont que des outils d'investigation permettant de mieux connaître la façon dont certaines parties de votre cerveau fonctionnent. Alors, si votre soif d'introspection vous pousse à mieux vous connaître, n'hésitez pas, mais rendez-vous chez un spécialiste !

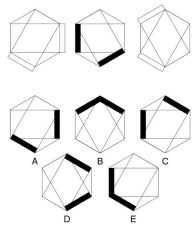
Les deux dernières questions formulées par Stephen Jay Gould concernaient le lien entre génétique et intelligence, et sa conséquence directe : peut-on ou non améliorer l'intelligence ? Depuis la publication de *The Bell Curve*, en 1994, la formidable accélération des progrès de la génétique a apporté un éclairage nouveau sur la vieille opposition entre inné et acquis. Nous consacrerons donc plus loin un chapitre à cette question, qui a nourri tant de polémiques. Mais le concept de QI est aussi à l'origine d'un autre débat, celui qui oppose les partisans d'une intelligence générale, mesurée par le QI justement, et les partisans d'intelligences multiples.

Quelques exercices à titre d'exemples[8]

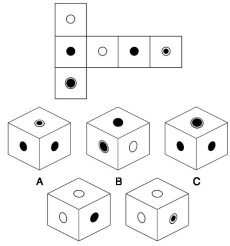
1) Quelles sont les 3 pièces qui, une fois associées, forment un carré parfait ?



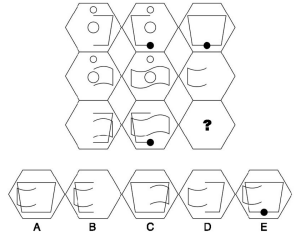
2) Quelle figure vient ensuite ?



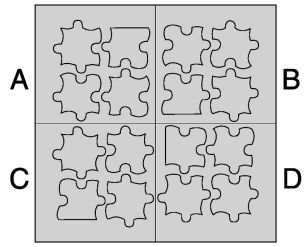
3) Si la figure ci-dessous est repliée pour former un cube, seuls deux des cubes suivants peuvent être constitués. Lesquels ?



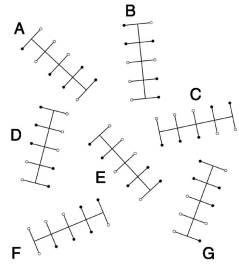
4) Quel hexagone se cache derrière le point d'interrogation ?



5) Tous les puzzles sont identiques par rotation sauf un. Lequel ?



6) Quel est l'intrus ?



7) Syllogisme

À laquelle des conclusions suivantes les deux propositions ci-dessous mènent-elles avec certitude ?

1. Aucune des stars de cinéma n'est un comédien.
2. Tous les producteurs sont des stars de cinéma.

- ○ Toutes les stars de cinéma sont des comédiens.
- ○ Les comédiens ne sont pas des producteurs.
- ○ Aucune star de cinéma n'est un producteur.
- ○ Quelques producteurs sont des comédiens.

8) Complétez :

?? est à bogue ce que noix est à ??

A) chataigne-arbre
B) coquille-fruit
C) marron-coque
D) ordinateur-coquille

9) Complétez :

?? est à sardine ce que chat est à ??

A) baleine-lait
B) boite-littière
C) océan-maison
D) requin-souris

10) Synonyme

Lequel des mots ci-dessous a le sens le plus proche du terme « rassurant » ?

- ○ compatissant
- ○ réconfortant
- ○ explicatif
- ○ indiscret

11) Séries numériques

Quel nombre est la suite logique de cette série : 4-6-9-6-14-6-…

- ○ 6
- ○ 17
- ○ 19
- ○ 21

12) 146, 32, 256, 31, 248, 24, ?, ?, ?
Quels sont les trois prochains nombres de cette séquence ?

---

1. Jacques Lautrey, entretien réalisé le 23 avril 2015.

CHAPITRE 4

Une intelligence ou des intelligences ?

Les pionniers de l'étude de l'intelligence, Wechsler et Thurstone, avaient admis dès les années 1920 qu'afin de l'appréhender dans sa globalité et de pouvoir élaborer une théorie, il fallait l'envisager sous la forme d'une capacité offrant de multiples facettes. Au fil des années, les théories se succédèrent, jusqu'à ce qu'en 1993 John Bissell Carroll propose un modèle dit « en strates », qui demeure à ce jour non seulement le modèle de l'intelligence le plus complet, mais aussi celui qui fait le plus largement consensus au sein de la communauté scientifique. Pour fonder sa théorie, Carroll compara 461 études réalisées entre 1927 et 1987. Cette méta-analyse reposait sur des données provenant de plus de 130 000 personnes, la plus vaste étude jamais réalisée sur l'intelligence.

La théorie des strates

Carroll analysa les liens entre diverses compétences mesurées par les tests de QI : capacités verbales, mémoire, perception visuelle ou auditive, créativité, vitesse du raisonnement, etc. Il constata que ces liens étaient plus facilement explicables en hiérarchisant ces compétences et en postulant l'existence d'une intelligence « générale » (le fameux facteur G) dont ces compétences découleraient. L'intelligence générale trônerait au sommet de la pyramide ; viendrait ensuite un deuxième échelon composé de huit facteurs d'intelligence secondaire ; et le tout s'achèverait par des

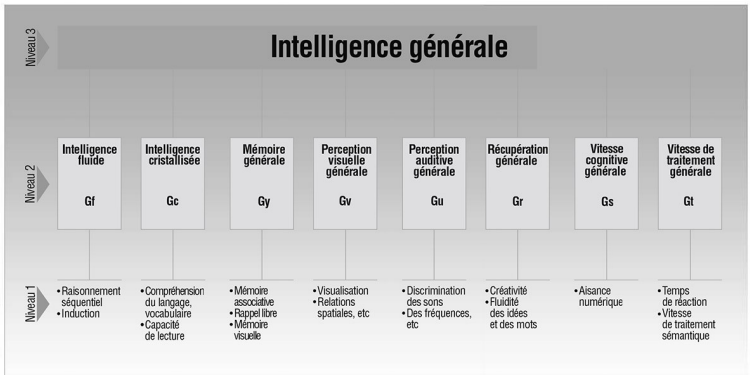
ramifications spécifiques à chacun d'entre nous.

Ce modèle définit l'intelligence comme une capacité aux multiples composantes plus ou moins efficientes. Un même individu peut être très performant dans un domaine, mais déficient dans un autre. Néanmoins, toutes ces aptitudes participent d'une intelligence générale et sont mesurables à l'aide de tests de QI, comme ceux de Wechsler, qui évaluent justement chacune d'elles. L'intelligence serait donc une et entière. Qu'on l'applique aux mathématiques, à la littérature ou à n'importe quel domaine, il s'agit toujours de la même qualité. Ce qui change d'un individu à l'autre, c'est l'équilibre de ses composantes.

Mais un tel modèle, aussi complet soit-il, présente malgré tout des limites. Il n'explique pas certains aspects de l'intelligence. Les tests qui sous-tendent ce paradigme évaluent le plus souvent des capacités sans grand rapport avec la résolution de problèmes concrets. Être intelligent dans la vie de tous les jours, ce n'est pas réussir un test, mais résoudre des problèmes bien définis avec des objectifs précis, impliquant d'innombrables paramètres. George W. Bush est certainement intelligent, si l'on se fie à son QI estimé à 120. Pourtant, cela ne l'a pas empêché d'être un piètre décideur : lui-même estime ne pas avoir une « pensée très analytique ». Steve Jobs fut l'un des inventeurs et des entrepreneurs les plus brillants de ces trente dernières années. Il ne viendrait à l'idée de personne de dire qu'il n'était pas intelligent. Pourtant, il a refusé une opération simple qui aurait pu guérir son cancer du pancréas et le sauver d'une mort prématurée. Il s'est obstiné à suivre différents régimes purement végétariens, riches en jus de fruits, ainsi que des traitements à base de plantes, tout en consultant des guérisseurs. « Je pense qu'il croyait en une "pensée magique" qui aurait le pouvoir d'empêcher que survienne quelque chose qu'il ne souhaitait pas. Il l'a regretté. Je crois qu'il a réalisé qu'il aurait dû bénéficier d'une opération plus tôt », confiait son biographe Walter Isaacson[1]. Comment une personne dotée d'un QI élevé peut-elle connaître ce type de déficiences ? Autrement dit, comment une personne « intelligente » peut-elle agir si bêtement ? Les capacités de raisonnement logique, celles que nous mettons en œuvre pour effectuer des choix rationnels, celles-là même que nous qualifions d'intelligentes, ne semblent pas toujours être les seules à guider nos actions. Nos croyances, nos désirs, nos projections, nos émotions, et bien d'autres composantes de notre personnalité, participent de ce que nous nommons l'« intelligence ». Faut-il alors les intégrer au modèle de Carroll comme

des composantes à part entière de l'intelligence ? Ou bien en déduire qu'il existe différentes formes d'intelligence ?

Le modèle hiérarchique de Caroll



Gardner et les intelligences multiples

Après la Seconde Guerre mondiale, les chercheurs travaillant dans les domaines de l'intelligence pure, rationnelle et conceptuelle se sont rendu compte que les scores de QI prédisaient relativement bien la réussite scolaire ou la performance professionnelle des individus… mais pas totalement. Il manquait des pièces au puzzle. De nombreux spécialistes ont alors commencé à remettre en cause le QI comme critère universel d'intelligence. Au côté de l'intelligence logico-mathématique et verbale, privilégiée par le système scolaire, ils ont traqué d'autres formes d'intelligence.

Dans les années 1980, un psychologue cognitiviste et professeur de neurologie américain, Howard Gardner, construisit une théorie en opposition à l'idée d'une intelligence unique, innée et mesurable par le biais d'un QI, dont les limites artificielles réduisent considérablement notre compréhension des capacités intellectuelles.

Gardner ne comprenait pas pourquoi il fallait qualifier d'intelligent quelqu'un de doué pour les chiffres, et utiliser un autre terme pour quelqu'un de meilleur dans le traitement d'informations spatiales ou de

plus efficace dans les relations avec les autres… Il émit l'hypothèse que différentes formes d'intelligence coexistent chez chacun d'entre nous. Mais ce modèle, comme tous les autres, pose, encore et toujours, le problème de la définition même de l'intelligence. Si nous poussons le raisonnement à l'extrême, nous pourrions presque dire que la maîtrise d'une capacité, quelle qu'elle soit, s'avère une forme d'intelligence. Et ces capacités différeraient forcément d'une culture à l'autre, puisque ce qui se révèle utile pour s'adapter en Papouasie ne l'est nullement pour s'adapter en France, aux États-Unis ou au Brésil. Existerait ainsi une intelligence culinaire, une autre pour la mécanique, une autre encore pour l'humour, pour la chasse, etc. En définissant l'intelligence comme multiple, on prend le risque de la rendre tellement multiple qu'on ne saurait bientôt plus de quoi on parle.

Gardner établit donc un certain nombre de critères pour qualifier une capacité d'intelligence : certains sont liés à l'histoire du développement, d'autres aux théories évolutionnistes, d'autres encore à la psychologie expérimentale. Chaque capacité doit être potentiellement altérable par des lésions cérébrales (ce qui est le cas, par exemple, du langage) ; elle doit faire l'objet d'un apprentissage par étapes ; des génies doivent s'illustrer dans les domaines qui l'utilisent (en musique, en science, en sport, etc.) ; elle doit mobiliser des facultés cognitives fondamentales (sensibilité aux sons et aux rythmes pour la musique, aux couleurs et aux formes pour un peintre, etc.) ; son apparition et son rôle dans l'évolution de l'espèce doivent être clairs. En respectant de telles contraintes, Gardner dénombra ainsi huit formes d'intelligence.

Les huit formes d'intelligence selon Gardner

- L'intelligence logico-mathématique : capacité à calculer et à raisonner, qui détermine la vitesse à laquelle on peut résoudre un problème numérique ou logique (scientifiques, ingénieurs, comptables, etc.).
- L'intelligence verbo-linguistique : capacité à penser, saisir et exprimer des idées grâce à laquelle on peut construire des phrases et convaincre les autres (écrivains, interprètes, journalistes, avocats, etc.).
- L'intelligence visuo-spatiale : capacité à percevoir et à représenter le monde qui permet de manipuler des objets mentalement (peintres, photographes, pilotes, etc.).
- L'intelligence intrapersonnelle : capacité à se connaître, à faire preuve

d'introspection et à avoir un regard critique sur soi-même (artiste, sportif, entrepreneur, etc.).
- L'intelligence interpersonnelle : capacité à comprendre les autres et à interagir avec eux (politiciens, managers, enseignants, commerçants, etc.).
- L'intelligence naturaliste : capacité à observer et à classifier la nature (zoologiste, archéologue, explorateur, fermier, etc.).
- L'intelligence musicale : capacité à reconnaître, interpréter et créer de la musique (musicien, compositeur, etc.).
- L'intelligence kinesthésique : capacité à mouvoir son corps dans l'espace et à maîtriser les travaux gestuels minutieux (danseurs, sportifs, artisans, chirurgiens, etc.).

D'après Gardner, ces différentes intelligences fonctionnent en parallèle et en simultané. Nous possédons tous ces huit formes d'intelligence à des degrés variés, mais chacun développe plus spécifiquement deux ou trois d'entre elles, en fonction de son bagage génétique, de sa culture et de son histoire personnelle.

La théorie de Gardner est rassurante : nous pouvons tous nous y reconnaître d'une manière ou d'une autre. L'intelligence est décrite de manière concrète et diversifiée. Pourtant, cette théorie s'est trouvée sous le feu des critiques, depuis sa publication en 1983. Ses détracteurs lui reprochent de ne pas produire de preuves solides qui permettent de la valider. Elle serait également simplificatrice car, selon ses opposants, les intelligences multiples n'existent pas : il s'agit en réalité de multiples applications d'une seule et même intelligence. Malgré tout, Gardner a fait progresser ce domaine d'étude d'une manière considérable en l'ouvrant à une nouvelle question qui n'est plus « Combien sommes-nous intelligent ? » mais « Comment sommes-nous intelligent ? » et en proposant des applications concrètes, en particulier dans le domaine de l'éducation. Le projet initial de Gardner était de trouver de nouvelles manières d'enseigner aux enfants défavorisés, ce qui conduisit à la création du Harvard Project Zero. Ce programme expérimental, de la Harvard Graduate School of Education (HGSE), visait à améliorer l'enseignement des arts. Il servit de cadre à Gardner pour ses études sur l'intelligence et sur l'éducation. Aujourd'hui, beaucoup d'enseignants américains se servent dans leur école des théories de Gardner et des outils développés par le Project Zero. Une enquête de Harvard a évalué quarante et un établissements qui avaient intégré la théorie des intelligences multiples dans leur méthode d'enseignement, avec une

étude plus approfondie de dix d'entre eux. Il ressort des conclusions une amélioration des résultats aux examens, une plus grande participation des parents et une plus grande discipline. Dans les écoles qui utilisent les théories de Gardner, la culture de l'effort, du respect et de l'attention est accrue ; de même que la capacité à collaborer et à apprendre les uns des autres, grâce à des activités scolaires individualisées et une attention particulière pour aider les élèves à produire du travail de haute qualité.

Si la validité scientifique de la théorie de Gardner est loin de faire l'unanimité, les outils qu'il a développés en se fondant sur l'étude de l'intelligence en tant que qualité dynamique et concrète ont montré des résultats plus qu'encourageants. La théorie des intelligences multiples n'est pas une méthode pédagogique. Cependant, elle reste intéressante pour travailler avec les enfants, car elle propose un système de lecture des différences cognitives. En dressant une « cartographie » de leur intelligence, elle permet d'adapter l'enseignement à leurs spécificités, facilitant ainsi les apprentissages. En associant ces huit types d'intelligence à l'un des trois profils perceptifs (visuel, auditif ou kinesthésique), chacun trouvera des supports et des dispositifs adaptés pour que l'enfant puisse assimiler au mieux des savoirs.

Déterminer son profil d'intelligences

Grâce à ce questionnaire, vous allez pouvoir déterminer quelles sont les intelligences les plus développées chez vous.

Remplissez chaque tableau en répondant aux questions avec des chiffres allant de 1 à 5 dans la colonne correspondante. Puis, pour chaque type d'intelligence, faites la somme de l'ensemble des chiffres de chaque colonne.

1 – Pas du tout
2 – Un peu
3 – Moyennement
4 – Souvent
5 – Très souvent

INTELLIGENCE LOGICO-MATHEMATIQUE	1	2	3	4	5
J'aime comprendre le fonctionnement des choses					
J'aime faire une liste des choses à faire					
J'ai des facilités à organiser mentalement mes idées					
J'aime les jeux logiques et de stratégie					
J'aime les mathématiques et les sciences					
J'ai des arguments logiques pour expliquer ce que je fais					
Je fais facilement des liens entre les idées					
J'aime classer les choses par catégories					
J'aime faire du calcul mental					
Mes estimations sont souvent bonnes					
Total intelligence logico-mathématique					

INTELLIGENCE VERBO-LINGUISTIQUE	1	2	3	4	5
J'aime les jeux de mots					
Je me rappelle mot pour mot ce qu'on me dit					
J'aime participer à des débats ou à des discussions					
J'aime écrire des lettres ou des histoires					
J'ai de la facilité en orthographe					
J'aime lire des livres et des magazines					
J'ai un bon vocabulaire					
J'aime expliquer aux autres ce que j'ai appris					
J'aime les mots croisés ou les jeux comme le Scrabble					
J'aime les langues étrangères					
Total intelligence verbo-linguistique					

INTELLIGENCE VISUO-SPATIALE	1	2	3	4	5
Je visualise facilement les objets ou les lieux dans ma tête					
J'aime faire des puzzles ou des labyrinthes					
J'aime faire des créations graphiques					
J'ai une bonne mémoire visuelle					
Je lis facilement les cartes et les plans					
J'aime le cinéma et les images en général					
J'ai un bon sens de l'orientation					
J'imagine facilement le résultat final à partir d'un plan					
J'aime les activités artistiques					
J'anticipe facilement les mouvements dans un jeu (échecs, football…)					
Total intelligence visuo-spatiale					

INTELLIGENCE INTRAPERSONNELLE	1	2	3	4	5
J'aime être seul et avoir un monde à moi					
Je comprends bien ce que je ressens et comment je réagis					
Je ne me laisse pas influencer facilement					
Je sais comment me fixer des objectifs et les atteindre					
Je sais qui je suis et je l'assume pleinement					
J'aime travailler à mon rythme dans les projets que j'ai choisis					
Je n'ai pas besoin de récompenses pour être motivé					
J'ai une opinion précise et arrêtée sur beaucoup de sujets					
J'ai quelques amis proches					
J'apprends continuellement de mes succès et de mes échecs					
Total intelligence intrapersonnelle					

INTELLIGENCE INTERPERSONNELLE	1	2	3	4	5
J'aime rencontrer de nouvelles personnes					
La présence des autres me donne de l'énergie					
Je préfère les sports d'équipe aux sports individuels					
Je suis considéré comme un bon confident par mes amis					
J'aime organiser des activités sociales					
Je m'adapte facilement aux différentes personnes					
J'aime partager mes idées et mes sentiments					
J'aime aider les gens à résoudre leurs problèmes					
Je suis un leader naturel					
Je me fais facilement des amis					
Total intelligence interpersonnelle					

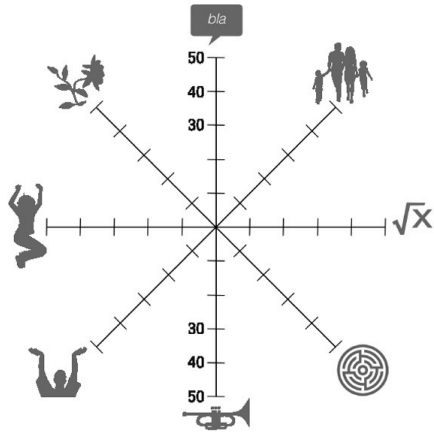
INTELLIGENCE NATURALISTE	1	2	3	4	5
Je suis passionné par les phénomènes naturels					
J'aime observer les animaux					
J'aime les plantations et prendre soin d'un jardin					
Je préfère être à l'extérieur qu'à l'intérieur					
J'aime aller à la ferme					
J'ai toujours eu ou voulu avoir des animaux domestiques					
Je me sens bien lorsque je suis dans une forêt					
J'aime visiter les zoos					
Je suis engagé dans la protection de l'environnement					
Je remarque les similarités et les différences entre les arbres ou les fleurs					
Total intelligence naturaliste					

INTELLIGENCE MUSICALE	1	2	3	4	5
Quand une musique joue, je bats la cadence					
Je perçois les fausses notes					
J'aime chanter sans musique					
Je reproduis facilement des rythmes avec des objets					
Je me souviens facilement des mélodies					
Je peux jouer d'un instrument de musique					
Je suis sensible aux bruits de mon environnement					
J'aime faire des choses en suivant un rythme					
Je peux facilement identifier différents styles musicaux					
Je joue de la musique dans ma tête					
Total intelligence musicale					

INTELLIGENCE KINESTHÉSIQUE	1	2	3	4	5
Je bouge constamment, je n'aime pas rester assis					
J'aime manipuler des objets et faire des maquettes					
J'ai une bonne coordination					
J'aime le travail manuel					
Je suis bon dans les sports					
J'aime toucher les objets, les déplacer					
J'aime imiter les gestes des autres					
Je comprends mieux les choses si je les fais					
Je gesticule beaucoup en parlant					
Je suis habile pour démonter et remonter des objets					
Total intelligence kinesthésique					

Après avoir calculé le total des points pour chaque type d'intelligence, reportez vos points sur la rosace afin d'établir un profil de vos forces et faiblesses relatives. Vous verrez alors sur quelles qualités vous pouvez

vous appuyez pour progresser.



Tous les théoriciens ne sont pas d'accord sur ce que recouvre le terme d'« intelligence » : compétences multiples qui sont autant d'intelligences indépendantes, ou compétence unique à multiples facettes qui peut s'exprimer sous une multitude de formes différentes ? Le débat reste ouvert quant au modèle exact, mais le consensus semble établi sur le fait que l'intelligence est issue de l'interaction de nombreux facteurs. Si la théorie de Gardner n'a pas encore à ce jour été validée par l'ensemble de la communauté scientifique, loin s'en faut, certaines capacités de notre cerveau sont considérées comme intimement liées à l'intelligence, au point d'être parfois qualifiées, abusivement ou non, d'intelligences à part entière : les émotions et la créativité.

L'intelligence émotionnelle

La pensée occidentale tend à opposer fortement la raison d'un côté, perçue comme un processus d'élaboration de haut niveau, et l'émotion de l'autre, considérée comme un processus instinctif de bas niveau. Mais de nombreuses recherches ont démenti cette conception et montré que les

émotions s'avèrent très largement présentes dans les processus de décision ou le raisonnement. C'est le neuroscientifique Antonio Damasio qui, le premier, a démontré que les personnes victimes de lésions dans les zones cérébrales régulant les émotions manifestent souvent des déficiences dans le domaine de la prise de décision, bien qu'elles conservent leurs facultés de raisonnement et semblent tout à fait normales. Damasio s'est appuyé sur le cas Phineas Gage pour montrer comment les émotions nous permettent de nous adapter à l'environnement et pourquoi elles font partie de la raison. Phineas Gage travaillait dans la construction des chemins de fer dans le nord-est des États-Unis. Le 13 septembre 1848, lors d'une explosion accidentelle, une barre à mine lui perfora le crâne, provoquant des dommages importants au lobe gauche de son cerveau. Gage sortit miraculeusement vivant de cet accident, mais sa personnalité changea radicalement : considéré comme sérieux, sociable et attentionné, il devint instable, asocial et peu pertinent dans ses choix de vie. Il avait perdu le sens des conventions sociales et des règles morales. Pourtant, ni ses fonctions intellectuelles ni son langage n'avaient été affectés. Pour Damasio, le « cas Gage » illustre la manière dont la lésion d'une région du cerveau impliquée dans les émotions perturbe significativement la capacité de faire des choix judicieux et avantageux pour son bien-être.

Moïra Mikolajczak, professeur de psychologie à l'université catholique de Louvain, spécialiste de la psychologie des émotions nous l'explique plus précisément :

> Nous éprouvons des émotions en permanence. Si vous prenez une personne au hasard, dans 100 % des cas, et à chaque instant, cette personne éprouvera au moins une émotion. Et ces émotions ont un impact sur les choix et les décisions que nous devons prendre. C'est le cas pour des décisions simples, comme par exemple s'il faut choisir de manger du porc ou du poulet – en dehors de tout interdit religieux. Sans émotions nous ne pourrions pas choisir, parce que ces options sont rationnellement équivalentes : le poulet et le porc ont plus ou moins le même apport calorique, le même prix. Ce n'est pas une décision que l'on prend rationnellement, il faut que surgisse un désir, une préférence, un souvenir agréable lié à l'un ou l'autre. Les personnes qui présentent des lésions dans

> les zones émotionnelles ne peuvent pas prendre ce genre de décision. Elles pourront rester des heures dans un supermarché avec les deux barquettes de viande à la main sans parvenir à se décider. C'est également le cas pour les décisions complexes, qui font intervenir un nombre très important de paramètres, comme le choix de notre conjoint, d'une carrière ou d'une maison. Ce ne sont pas des décisions que l'on peut prendre facilement sans émotions. Les paramètres sont tellement nombreux et la pondération de ces paramètres tellement complexe que les émotions vont faciliter, accélérer le processus de décision en nous fournissant une orientation[2].

Raison et émotions

Associer l'intelligence et les émotions peut sembler contre-intuitif, tant pour nous la rationalité, qui suppose le recul et la réflexion, semble opposée à l'émotionnel, qui implique la spontanéité. Nous avons tous présente à l'esprit cette phrase du mathématicien et philosophe Blaise Pascal : « Le cœur a ses raisons que la raison ne connaît point », qui fonde l'idée de cette opposition. Effectivement, d'un point de vue cérébral, il existe un conflit entre les régions plus spécifiquement dédiées aux émotions, les aires limbiques, et les régions dévouées traditionnellement à la raison, les aires corticales frontales. Elles s'inhibent mutuellement. Par exemple, si nous sommes au régime, et que nous avons très envie d'un gâteau, nos émotions vont rendre difficile la prise en compte rationnelle de l'importance de suivre sa diète. Mais à l'inverse, les aires corticales frontales nous permettent de maintenir nos pulsions sous contrôle. La zone la plus fortement activée prendra le dessus sur l'autre et orientera nos décisions.

Les neuroscientifiques américains Samuel McClure et Read Montague ont ainsi montré comment prédire le choix d'une personne en fonction de la zone cérébrale la plus active. En 2004, ils ont observé le cerveau de volontaires pour découvrir leurs critères d'attirance pour un produit, en l'occurrence un soda. Grâce à des méthodes de neuro-imagerie, telle l'IRM fonctionnelle, ils ont découvert que le cerveau n'évaluait pas un produit uniquement en fonction de sa saveur ou de son prix, mais aussi en fonction de sa marque ou de la mémoire des expériences gustatives passées. Ils ont ainsi mis en évidence que les processus de décision

s'appuyaient essentiellement sur des ressentis émotionnels infra-conscients, et non sur des raisonnements par étapes. Il est vrai que le choix d'un soda n'est pas un enjeu crucial, et que nous pouvons plus facilement nous laisser influencer par nos émotions. Pourtant, même des domaines dans lesquels les choix ne devraient se faire que sur des bases rationnelles n'échappent pas à l'influence des émotions.

Une étude publiée par *The Journal of finance* en 2007, intitulée « *Sports sentiments and stocks return* », montre comment les choix des traders sont influencés par les résultats de leur équipe nationale de football lors d'une compétition. L'étude a conclu que lorsqu'une équipe perdait un match, le marché boursier de son pays perdait trente-huit points de performance par rapport à sa moyenne. Pourtant la règle d'or, chez tous les traders, consiste à ne jamais laisser les émotions interférer avec leur stratégie d'investissement. Malgré cela, un événement sportif, dont l'issue les affecte émotionnellement, oriente leurs choix.

Mais les émotions n'influencent pas que nos processus de décision, elles influencent aussi notre capacité à apprendre. Par exemple, lorsque nous subissons une situation désagréable ou dangereuse, nous ressentons du stress. Notre organisme libère alors une hormone appelée cortisol. À faible dose, le cortisol va stimuler l'augmentation du glucose sanguin à partir des réserves de l'organisme. Lorsque le niveau de stress est léger, cet apport d'énergie va améliorer notre mémoire et nos processus de raisonnement. Mais au-delà d'un certain seuil, les récepteurs au cortisol vont être saturés et affecter directement le cerveau, provoquant des troubles de la mémoire et des difficultés d'apprentissage.

Les émotions interviennent en permanence dans nos processus cognitifs. Il est illusoire de penser que nous pouvons utiliser le plein potentiel de notre intelligence à tout instant : elle reste sous l'influence, positive ou négative, de nos émotions comme nous l'explique Moïra Mikolajczak :

> Si vous faites passer à un individu un test de QI sans enjeu particulier, les émotions vont exercer peu d'influence sur le résultat, et la mesure du véritable QI sera relativement non biaisée. Si vous l'avez mis en confiance en suscitant des émotions positives comme l'intérêt ou l'enthousiasme, il est probable que ces émotions vont venir soutenir, voire améliorer sa performance intellectuelle. Mais si l'individu est dans une

> situation de stress, s'il sait que du résultat vont dépendre ses possibilités de carrière, soit une promotion, soit une relégation sur une voie de garage, les résultats vont être affectés, sans doute négativement[3].

Une intelligence d'adaptation

La capacité à traiter les informations de nature émotionnelle participe donc pleinement de notre intelligence. À tel point que les années 1990 ont vu se développer le concept d'intelligence émotionnelle (IE) et de quotient émotionnel (QE) pour l'évaluer. L'intelligence émotionnelle est définie comme la capacité à percevoir, comprendre, réguler et exprimer ses émotions et celles des autres.

Si l'intelligence est seulement considérée comme la capacité à comprendre les choses et tisser des liens entre elles en vue d'aboutir à une connaissance conceptuelle et rationnelle, alors la notion d'intelligence émotionnelle n'a guère de sens. Mais si nous considérons l'intelligence comme la capacité à traiter nos propres émotions et celles des autres, en vue d'augmenter notre aptitude à nous adapter de manière flexible et intelligente à notre environnement, alors l'intelligence émotionnelle est fondée.

La majorité des études qui ont cherché à évaluer l'importance du QI ont été conduites sur des critères de performance, en tentant de prédire la réussite scolaire ou la performance professionnelle. D'ailleurs le QI a été mis au point, nous l'avons vu, dans le but d'évaluer les capacités d'apprentissage scolaire. Mais dans d'autres domaines de la vie, comme ceux de la santé mentale, du bien-être, de nos relations avec les autres, que ce soit avec nos collègues, nos enfants, notre conjoint, alors des intelligences « parallèles » telle que l'intelligence émotionnelle expliquent et prédisent beaucoup plus de choses que le QI. Pour certains psychologues, cette capacité serait essentielle pour toutes les activités mettant en jeu la communication et l'interaction, donc toutes les activités sociales.

Aujourd'hui, cet aspect de notre intelligence est bien plus valorisé et plusieurs programmes récents proposent un entraînement à l'intelligence émotionnelle. Ces études montrent que nous pouvons nous rendre plus sensibles, plus à l'écoute pour développer nos capacités d'autorégulation et de traitement de l'information émotionnelle. Ce faisant, nous pouvons

agir pour améliorer les performances de notre intelligence rationnelle.

Développer ses compétences émotionnelles

Le succès du concept d'intelligence émotionnelle doit beaucoup au fait qu'il vient réduire la toute-puissance du QI comme critère de réussite. De plus, de nombreuses études ont montré que les personnes disposant de bonnes capacités de régulation et de compréhension de leurs émotions sont moins vulnérables au stress, aux maladies cardio-vasculaires, à l'asthme, au diabète, aux maladies gastro-intestinales, voire à certains cancers. Les compétences émotionnelles sont distribuées de manière, semble-t-il, égale dans la population, et surtout elles peuvent être développées en travaillant sur les cinq piliers qui les fondent.

1 – Identifier ses émotions

Il faut pouvoir identifier précisément ses états émotionnels de manière plus précise que « je me sens bien » ou « je me sens mal ». Il s'agit, par exemple, de faire la distinction entre déception, angoisse ou tristesse. Pour cela, il est nécessaire de prendre du recul et d'analyser ses pensées et ses actions. Lorsqu'un mot est mis sur une émotion, nous avons plus de moyens pour agir sur elle, et la réguler. Et il est aussi plus facile d'identifier les émotions des autres et d'adapter ainsi notre comportement social en conséquence.

2 – Comprendre ses émotions

Une fois l'émotion identifiée, il s'agit d'en comprendre la cause. Il faut éviter de confondre le déclencheur d'une émotion avec son origine profonde. Pour cela, il est indispensable d'avoir conscience de ses besoins. En effet, les émotions prennent leur source dans des besoins qui sont ou ne sont pas satisfaits. En dehors des besoins biologiques fondamentaux (manger, boire, dormir, respirer, etc.), il en existe d'autres comme avoir de la reconnaissance, communiquer avec ses semblables, éviter les dangers, agir selon ses valeurs, qui eux aussi participent de notre bien-être. Un besoin non satisfait peut être à l'origine d'angoisse, de frustration ou de colère, émotions qui peuvent se manifester ultérieurement, à une autre occasion.

3 – Exprimer ses émotions

Exprimer ses ressentis, à l'oral ou par écrit, n'est pas chose aisée. Beaucoup n'y parviennent pas, ou le font de manière maladroite. Pourtant exprimer ses émotions permet de réduire leur impact, en désamorçant les tensions lorsqu'elles sont négatives, ou de renforcer les liens sociaux, lorsqu'elles sont positives. Ceux qui parviennent à le faire suscitent souvent une forte adhésion.

4 – Réguler ses émotions

Qu'elles soient négatives ou positives, il est essentiel de savoir réguler ses émotions. L'une des méthodes les plus efficaces pour y parvenir consiste à

chercher un contact social accru. L'isolement alimente en général les émotions négatives telles que l'angoisse ou la tristesse. Aller à la rencontre des autres ou communiquer sur ses émotions apaise les tensions et offre en même temps une possibilité de réévaluation. Nos émotions sont autant provoquées par une situation, que par l'évaluation que nous en faisons. Dès lors, recueillir des avis différents sur une situation permet de l'envisager autrement.
La régulation physique aussi peut agir efficacement. Une émotion est une réaction à la fois psychologique et physique à une situation. La joie, la peur, la tristesse, la colère et le dégoût, par exemple, s'accompagnent de diverses manifestations comme une modification du rythme cardiaque, la libération d'hormones, de la sudation… Les émotions sont donc enracinées dans une expression physique. Par conséquent, il est possible d'agir sur elles par le biais d'une expression. Ainsi, en souriant, nous entretenons mécaniquement une émotion positive, ou nous diminuons une émotion négative.

5 – Utiliser ses émotions
Les études ont prouvé qu'une bonne maîtrise de ses compétences émotionnelles est un facteur important de réussite scolaire, professionnelle ou personnelle. Encore faut-il savoir utiliser ses émotions à bon escient, qu'elles soient positives ou négatives. Nous avons vu que notre cerveau est le siège permanent d'un conflit entre les aires dédiées aux émotions et celles où s'active le raisonnement. Le savoir est nécessaire pour faire la part des choses et ne pas laisser notre enthousiasme ou notre colère fausser notre jugement. Nous pourrons aussi utiliser
l'ancrage physique de nos émotions pour les susciter. Provoquer un état émotionnel négatif, en évoquant des souvenirs, des situations négatives vécues, peut nous servir à être exigent, à adopter une approche critique qui peut être utile dans certaines tâches. Une situation émotionnelle positive peut avoir, pour sa part, un effet sur notre cognition, ou faciliter nos échanges sociaux, qu'ils soient privés ou professionnels.

Quelle place pour la créativité ?

Pendant des siècles, la créativité a été considérée comme d'origine divine. Seuls Dieu ou les muses, par définition, étaient créateurs. Aujourd'hui encore, la créativité revêt quelque chose de mystérieux. Nous l'associons en général au domaine artistique, scientifique ou à la réussite d'un entrepreneur. Mais par-dessus tout, la créativité suprême renvoie au génie. Léonard de Vinci, Thomas Edison ou Steve Jobs étaient sans aucun doute des personnes dotées de talents hors du commun et de capacités créatrices extraordinaires. Fort heureusement, la créativité n'est pas

exclusivement l'apanage des génies. C'est une capacité que nous utilisons en permanence au quotidien pour résoudre, par exemple, un problème lorsque nous bricolons, ou un conflit professionnel avec des personnes caractérielles avec lesquelles nous devons composer.

La pensée divergente

C'est Alfred Binet, le premier, qui considéra qu'elle était une facette primordiale de l'intelligence. Il l'avait d'ailleurs intégrée dans ses premiers tests, en proposant aux enfants des questions pour lesquelles plusieurs réponses étaient possibles. Mais comme ces épreuves ne permettaient pas une bonne prédiction de la réussite scolaire, la créativité fut éliminée des tests. Il fallut attendre les années 1950 pour que les psychologues américains Joy Paul Guilford puis Paul Torrance la sortent de l'oubli. Ce sont eux qui proposèrent l'idée selon laquelle la créativité repose en partie sur la pensée divergente, un mode de fonctionnement qui nous permet d'apporter des réponses nouvelles et originales à un problème en envisageant plusieurs solutions. À l'inverse, la pensée convergente consiste à donner la bonne réponse en mobilisant nos connaissances et nos capacités de raisonnement. Ils mirent au point des tests qui sont encore largement utilisés aujourd'hui. Par exemple, pour illustrer la pensée divergente, il s'agit, en partant d'un objet simple (boîte, stylo, verre, brique…), de noter pendant cinq minutes le maximum d'idées d'utilisation de l'objet, en dehors de son rôle habituel. Plus vos idées se révéleront différentes, pertinentes et originales, plus vous serez créatif. Voici différentes propositions pour le mot trombone :

- Maintenir des papiers ensemble
- Boucles d'oreilles
- Ouvrir le compartiment à carte SIM d'un Iphone
- Boutons de manchettes
- Garder le fil des écouteurs du casque démêlé
- Marque-page

Ce type de test mesure la pensée divergente à travers 4 catégories :

- L'originalité : la rareté des usages.
- L'aisance : combien d'usages sont attribués à l'objet.
- La flexibilité : combien de domaines couvrent les usages (boutons de manchettes et boucles d'oreilles sont tous les deux des accessoires et donc un seul domaine).

- L'élaboration : le niveau de détails dans la réponse. « Garder le fils des écouteurs du casque démêlé » est plus détaillé que « marque-page ».

Dans sa conception élargie qui prime aujourd'hui, l'intelligence est perçue comme une capacité nous permettant de nous adapter de manière efficace à notre environnement. Pour cela, nous devons parfois résoudre des problèmes en proposant des solutions inédites. L'une des caractéristiques de l'intelligence humaine n'est-elle pas sa capacité à créer, à innover, à inventer de nouveaux outils, de nouvelles organisations ou de nouvelles théories ? Cette compétence est présente dès l'enfance et se révèle même l'un des principaux moteurs de notre développement intellectuel. Dès son plus jeune âge, l'enfant doit comprendre et s'adapter à son environnement. Si certaines capacités s'acquièrent par la compréhension et la répétition, d'autres demandent une solution personnelle. Et même si une situation n'est nouvelle que pour l'enfant, il devra mettre en œuvre sa créativité pour s'y adapter.

Si notre intelligence implique la mise en œuvre de processus créatifs, la créativité est-elle l'une des composantes de l'intelligence, ou bien l'intelligence est-elle une partie de la créativité, ou bien finalement s'agit-il de deux compétences différentes ? L'un des meilleurs spécialistes de la créativité, Todd Lubart, professeur de psychologie à l'université Paris Descartes, nous explique qu'il n'existe aucune corrélation forte entre intelligence rationnelle et créativité :

> Dans mon laboratoire, nous travaillons avec des enfants surdoués, des enfants à haut potentiel intellectuel (HP) qui ont

> des QI très élevés, de plus de 130. Il y a deux grandes catégories de HP : les HP intellectuels académiques et les HP créatifs. Pour faciliter les choses, nous avons pris les mêmes repères que ceux des tests de QI. Un enfant normalement créatif pour son âge, aura une note de 100 aux tests de créativité, de manière arbitraire. Les HP auront autour de 130. On a fait passer aux enfants des tests de QI et des tests de créativité pour voir s'il existait un recouvrement. Chez les HP-QI élevé, 10 à 20 % sont aussi HP créatif : c'est une corrélation assez faible[4].

Le lien entre QI et créativité ne serait donc pas très significatif. On peut être créatif sans être intelligent et être intelligent sans être créatif. Si nous considérons la créativité comme la capacité à décomposer des idées, puis à les réarranger sous la forme de combinaisons « non évidentes », une personne avec un niveau modeste d'intelligence s'avère capable de le faire. Un artiste peut présenter un QI légèrement en dessous de la moyenne. Mais certaines activités créatives sollicitent également des opérations mentales définies comme partie prenante de l'intelligence. Par exemple, une personne dotée d'un QI de 80 ne sera jamais un physicien ou un mathématicien très créatif. Pour être créatif dans ces domaines, un niveau minimal de connaissances et d'intelligence est nécessaire pour pouvoir, ensuite, les réorganiser d'une manière originale, tout en respectant des règles logiques. Intelligence et créativité sont donc deux facettes de notre esprit qui sont distinctes sans être hermétiques, car nous avons besoin des deux. Si nous regardons le monde uniquement d'une façon analytique, nous allons voir sans cesse le même tableau et les mêmes schémas se répéter encore et encore. En revanche, si nous le regardons en mode « créatif », de nouvelles perspectives s'offriront à nous en permanence. Nous pourrons voir différemment ce que nous connaissons déjà. Mais toutes les magnifiques idées qui surgiront alors seront perdues si nous ne les organisons pas grâce à nos pensées analytiques. Nous avons besoin de ces deux manières de penser pour être créatif de manière productive. C'est la théorie que défend Rex Jung. Professeur de neuropsychologie à l'université du Nouveau-Mexique, il poursuit également des recherches sur la créativité au sein du Mind Research Network, un institut de recherche interdisciplinaire sur le cerveau.

Une autre forme de raisonnement

D'après lui, l'intelligence et la créativité sont deux formes de raisonnement distincts, qu'il perçoit comme des partenaires collaborant en permanence pour nous permettre de trouver des solutions aux problèmes posés par notre environnement. Pour vérifier son hypothèse, il a observé, grâce à des techniques d'imagerie cérébrale, l'activité du cerveau de différents volontaires soumis à des tâches faisant appel à leur créativité. Puis il a comparé ces résultats avec ceux obtenus par des personnes résolvant des problèmes sollicitant seulement leurs capacités de raisonnement. Rex Jung a ainsi mis en évidence que ces deux modes de fonctionnement, ces deux manières distinctes de réfléchir, mettaient en action des réseaux différents dans notre cerveau. Nous savons aujourd'hui que tous les processus mentaux supérieurs, comme l'intelligence, ne dépendent pas d'une zone unique du cerveau, même si certaines sont plus importantes que d'autres, voire essentielles. Le professeur Rex Jung et le professeur Richard Haier, de l'université de Californie-Irvine, avaient proposé dès 2007 un modèle biologique de l'intelligence appelé P-FIT (Parieto-Frontal Integration Theory). En analysant trente-sept études de neuro-imagerie portant sur l'intelligence, ils avaient remarqué que quatorze zones, principalement localisées dans les lobes pariétaux et frontaux, étaient systématiquement impliquées. Ces zones se trouvent liées à des fonctions comme la mémoire, l'attention ou bien encore le langage. La taille ou la localisation de ces aires jouent certainement un rôle, mais le plus important semble être l'intégration et l'efficacité des échanges d'informations dans ce « réseau de l'intelligence ».

En comparant ses résultats avec le modèle P-FIT, Rex Jung a remarqué que le réseau de l'intelligence et celui de la créativité n'étaient pas les mêmes. Lorsque nous sommes créatifs, c'est le réseau du mode par défaut (RMD) qui est le plus largement impliqué. Ce réseau, découvert dans les années 1990, connecte différentes aires du cerveau qui s'activent lorsque nous n'effectuons aucune tâche précise, lorsque notre esprit vagabonde parmi les pensées de notre monde intérieur. Ce réseau serait également lié à la capacité de construire des simulations mentales fondées sur des souvenirs autobiographiques, les expériences présentes, mais également sur des projections dans le futur ou bien encore lorsque nous échafaudons des scénarios pour comprendre les états mentaux d'autrui. Dès lors que nous nous concentrons sur une tâche spécifique, l'activité du RMD

s'interrompt. Nous ignorons encore précisément le rôle de ce réseau, mais l'une des hypothèses serait que cette activité du cerveau au repos fournirait un moyen de conserver différents processus opérationnels en mode veille pour nous préparer à toute éventualité, comme un ordinateur qu'il serait ainsi plus facile de rallumer.

L'étude du professeur Jung, confirmée et complétée par celles d'autres équipes à travers le monde, montre que l'activité cérébrale des personnes peu performantes dans les tests de créativité est différente. Au repos, lorsqu'elles sont assises, relax, laissant libre cours au flux de leurs pensées, l'imagerie montre une faible activité du RMD et, au contraire, une activité relativement importante dans le lobe frontal. En revanche, dans le cerveau des personnes les plus créatives, c'est l'opposé. Le réseau du mode par défaut est plus actif, le cerveau est toujours en train de chercher, de brasser une foule d'idées, d'échafauder des hypothèses et des scénarios, tandis que le lobe frontal connaît une faible activité. L'un des rôles du lobe frontal est d'organiser et de contrôler les pensées, c'est une sorte de censeur qui veille à la cohérence. Chez les personnes les plus créatives, nous constatons que, lorsqu'elles ne pensent à rien de particulier, le flux de leurs pensées est plus important, et parallèlement, ces pensées sont moins contrôlées. Cet état « chaotique » constitue une forme de désinhibition qui permettrait à des aires cérébrales qui ne communiquent pas habituellement de s'échanger des informations : le lobe frontal laisserait les autres aires former des associations entre elles plus librement que d'habitude. Comme le disait Steve Jobs, « *creativity is just connecting things* ». Le processus de base de la créativité consiste à connecter des choses entre elles. Les idées ne naissent pas de nulle part. Pour générer une chose originale, il faut systématiquement la construire à partir de connaissances antérieures qu'on a mises en relation à l'aide d'une organisation différente.

Voici donc ce que nous pourrions nommer le paradoxe de la créativité. La partie du cerveau qui travaille à la résolution d'un problème n'est pas forcément celle qui trouve la solution. Pour Jung, notre cerveau fonctionne selon deux modes : le « créatif » et le « rationnel ». Le mode « rationnel » est celui que nous utilisons le plus volontiers lorsque nous effectuons un travail intellectuel. Nos pensées suivent alors un cheminement logique, en enchaînant les associations d'idées les plus évidentes. Le mode créatif se situe plus volontiers dans le subconscient, nous permettant de connecter un plus grand nombre de zones, plus

éloignées les unes des autres. C'est précisément ce que nous faisons lorsque nous nous trouvons face à un problème inédit ou difficile. Nous avons besoin d'effectuer de nouvelles connexions entre nos neurones. Les techniques d'imagerie cérébrale utilisées par Jung semblent confirmer cette hypothèse, comme il nous l'explique :

> Ce que nous avons trouvé dans notre laboratoire, en comparant des personnes plus ou moins créatives, est assez surprenant. L'intelligence rationnelle, comme nous l'avons montré avec le modèle P-FIT, est liée au nombre de neurones dans certaines zones, à la connectivité entre eux, à la vitesse et à l'efficacité de la transmission des informations. Plus il y en a, plus nous sommes intelligents. Si on comparait le cerveau à un réseau routier, l'intelligence s'apparenterait aux autoroutes qui nous permettent d'aller rapidement dans toutes les grandes villes. Pour la créativité les choses sont différentes, plus surprenantes et plus subtiles. Il semblerait qu'un cortex plus fin, avec donc moins de neurones, qu'une communication plus diffuse des informations, les zones impliquées n'étant pas connectées par des « autoroutes », sont caractéristiques d'un plus haut niveau de créativité. La créativité serait comme le réseau de routes secondaires qui permet d'aller dans les endroits les plus reculés, nous permettant de rapprocher des points très éloignés[5].

En permanence dans notre cerveau, différents réseaux de neurones s'activent simultanément, alternativement, s'inhibent ou se stimulent, même lorsque nous ne faisons rien. Qu'il s'agisse des réseaux des émotions, de la créativité ou de l'intelligence dite rationnelle, tous sont complémentaires et participent de notre intelligence au sens le plus large. Nous avons vu qu'une meilleure maîtrise de nos émotions pouvait nous permettre de mieux utiliser tout le potentiel de notre intelligence. Avec la créativité, il en va de même. Nous passons en permanence d'un mode de pensée rationnel à un mode de pensée créatif, y compris lorsque nous cherchons à résoudre un problème particulier. Nous nous concentrons ; nous faisons appel à nos souvenirs, nous édifions des constructions logiques, nous divaguons en nous perdant dans nos pensées. Améliorer notre créativité rendra donc notre intelligence plus apte à résoudre un

nombre important de problèmes, et cela de plus en plus efficacement.

L'intelligence du futur ?

Aujourd'hui, les discours politiques et économiques soulignent en permanence que l'innovation constitue un puissant moteur de développement économique du XXIe siècle dans les secteurs des produits et des services. Or la créativité est la clé de l'innovation. Dans les prochaines années, les intelligences artificielles (IA) de deuxième et de troisième génération, capables de percevoir et de raisonner sur les tâches à accomplir, vont peu à peu remplacer un certain nombre de professions intellectuelles, lesquelles avaient été jusqu'à lors épargnées par la robotisation. Les métiers qui requièrent essentiellement des connaissances et une pensée analytique tendront à disparaître. Conseil juridique ou fiscal, diagnostic médical, comptabilité, et d'autres tâches encore, seront exécutés, entièrement ou en partie, par des machines de plus en plus complexes et performantes.

Les métiers d'avenir seront, d'une part, les métiers techniques de conception et d'entretien de ces machines, et d'autre part, les métiers créatifs. Il existe déjà des programmes informatiques d'aide à la création, pour écrire des histoires, pour designer des objets. Mais qu'aurait obtenu comme réponse Henry Ford s'il avait demandé à un algorithme ce que voulaient ses clients ? La machine lui aurait certainement répondu « un cheval plus rapide ». Tant que nous ne saurons pas programmer le goût et l'émotion, qui permettent de créer et d'évaluer la qualité d'une création, cette facette de notre intelligence restera notre unique apanage. Il est donc important de stimuler nos capacités créatrices, et cela dès le plus jeune âge.

La créativité est le produit de l'interaction de composantes cognitives (connaissances, intelligence, styles cognitifs), de composantes conatives (caractéristiques de personnalité, motivation) et de composantes relatives à l'environnement. Pour être très créatif, il faut que ces composantes soient à la fois présentes et de niveau élevé. Parmi elles, les facteurs environnementaux restent ceux sur lesquels nous pouvons le plus facilement influer pour favoriser et valoriser l'éclosion d'idées nouvelles et ainsi stimuler nos capacités créatrices.

L'école, dont ce devrait être l'un des rôles, ne s'est malheureusement pas encore convertie à ce nouveau paradigme. En 1993, la psychologue

américaine Kathryn Wentzel, de l'université du Maryland, a montré que, pour les enseignants américains, l'élève idéal suit les consignes, reste silencieux et comprend ce qu'on lui enseigne. Cela montre bien que l'école favorise l'obéissance et le conformisme, plutôt que la curiosité et l'indépendance, des caractéristiques pourtant nécessaires au développement de la créativité. Toutefois, de nombreux établissements et de nombreux enseignants intègrent de plus en plus des outils issus de pédagogies alternatives pour stimuler la créativité. Ils cherchent ainsi à :

- favoriser les rythmes d'apprentissage individualisés,
- mettre en place des outils d'auto-évaluation pour apprendre l'autonomie et développer l'initiative,
- – développer les capacités de base de la créativité comme la pensée métaphorique, la pensée divergente ou la capacité de combinaison sélective,
- développer des traits de personnalité comme la prise de risque, la tolérance à l'ambiguïté ou l'écoute des émotions.

Au niveau de la cellule familiale, chaque parent doit sentir les besoins de ses enfants, et se souvenir que la capacité à créer reste indissociable du plaisir, de la motivation et de la confiance en soi. Les connaissances et les influences culturelles riches et variées jouent un rôle important et les enfants ont besoin de règles sans être étouffés par elles. En 1998, Todd Lubart et Jacques Lautrey réalisèrent une étude sur des enfants de CM2. Ils croisèrent les résultats de tests de créativité avec les règles d'éducation que les parents déclaraient suivre : attitude laxiste, contraignante ou souple. Les résultats ont révélé qu'un environnement souple favorise plus la créativité que les deux autres (laxiste ou contraignant). L'environnement souple est constitué de règles qui posent des limites au sein desquelles une relative liberté est possible, ce qui s'approche le plus de la dynamique créatrice : innover en respectant des règles.

Les éducateurs devraient prendre en considération un dernier paramètre : le rôle du corps et de l'exercice. Une étude sur la créativité menée par l'équipe de Marily Oppezzo à l'université de Stanford a montré un lien entre la marche à pied et la créativité. Dans l'étude, 176 volontaires, répartis en deux groupes, se sont livrés à un test classique de pensée divergente sur les usages possibles d'un objet. L'un restait immobile tandis que l'autre marchait. Le nombre de réponses inventives trouvées par le groupe de marcheurs s'est avéré supérieur de 80 à 100 % à celui qu'obtenaient les personnes assises ! Les chercheurs

ont réalisé l'expérience une seconde fois en changeant les conditions. Cette fois, les marcheurs restaient à l'intérieur, sur un tapis de course, tandis que les personnes assises pouvaient se promener, mais en chaise roulante. Là encore, les marcheurs se sont révélés les plus créatifs. Ces résultats rejoignent les écrits de Francis Galton. Dans certains articles, il exposa comment naissaient ses idées sur l'étude de l'intelligence. Lorsqu'il peinait dans ses recherches, il sortait marcher dans Londres. La collision entre ses pensées diffuses et les scènes dont il était témoin faisaient surgir de nouvelles idées. Donc vous aussi, si vous êtes en panne d'inspiration, n'hésitez pas à sortir vous promener !

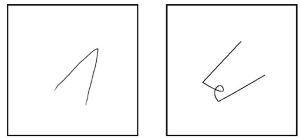
Testez votre créativité

Après le test de pensée divergente, appelé aussi test des usages alternatifs, que nous avons présenté plus haut, voici quelques exemples des tests les plus fréquents utilisés pour évaluer la créativité[6].

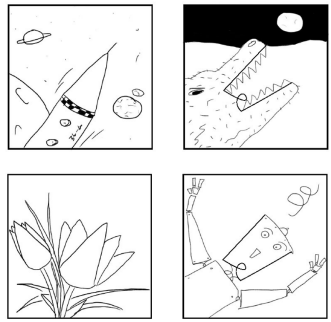
Le test de la forme incomplète

L'un des tests utilisés dans les études scientifiques sur la créativité, est le *Torrance Test of Créative Thinking* (TTCT), le test de Torrance sur la pensée créative, construit en 1976 par le psychologue Ellis Paul Torrance. Il cherchait à identifier les aptitudes créatives en se démarquant du test de QI. L'un des éléments les plus connus du TTCT est le test de la forme incomplète.

On vous donne une forme au hasard.



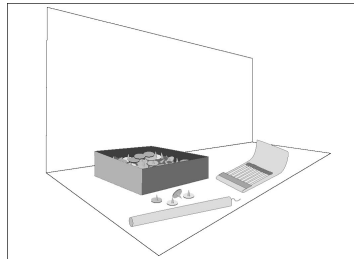
Vous devez ensuite la compléter, comme dans les exemples ci-dessous, en cinq minutes.



Le problème de la bougie

Conçu par le psychologue Karl Duncker dans les années 1930, ce problème est un classique des tests de créativité. On donne aux sujets une bougie, une boîte de punaises et des allumettes. Il leur est ensuite demandé de fixer la bougie au mur, puis de l'allumer sans que la cire coule sur le sol.

Ce test remet en question nos capacités cognitives, mises en difficulté face à une utilisation inhabituelle d'un objet du quotidien.



Le test des associations éloignées

Le *Compound Remote Associates Test* (CRA) consiste à prendre trois mots qui n'ont apparemment aucun rapport entre eux, comme « Noir – Suisse – Gâteau » et de trouver un quatrième mot pour les relier. Dans ce cas, la réponse est « chocolat » pour « chocolat noir », « chocolat suisse » et « gâteau au chocolat ».

Vous ne trouverez pas la réponse en envisageant tous les synonymes, ressemblances et comparaisons possibles. La solution surgira de nulle part en un éclair de compréhension, ce que les Anglo-Saxons appellent l'*insight* ou le moment eurêka.

À vous de jouer maintenant :

Maux – Chasseur – Chou
Sandwich – Golf – Football
Salle – Bulles – Sels

Lumière – Anniversaire – Bâtonnet
Temps – Cheveux – Étirement
Savon – Chaussure – Mouchoir
Art – Ronde – Tennis
Tomber – Acteur – Poussière

Les énigmes

Les psychologues utilisent les énigmes pour mesurer le potentiel créatif de la solution, ou la pensée convergente. Le but est généralement d'obtenir une seule réponse correcte plutôt que plusieurs réponses possibles. Ces énigmes peuvent aussi éclairer sur des traits de personnalité. La question ne laisse pas apparaître de réponse évidente, jusqu'à ce que, soudainement, dans un flash de perspicacité…

1. Deux pères et deux fils sont à la pêche. Ils réussissent à pêcher trois poissons. Ils décident d'en faire leur dîner et en mangent un chacun. Comment ont-ils fait ?

2. Le légendaire coureur Hervé Locité fit le pari qu'il pouvait éteindre l'interrupteur à l'entrée de sa chambre et se trouver dans son lit avant que la pièce ne soit plongée dans l'obscurité. Et il le fit au moins une fois devant témoins. Comment a-t-il fait ?

3. Un homme a marié 20 femmes dans une petite ville. Toutes les femmes sont toujours vivantes et aucune d'elles n'a divorcé. Cet homme n'a enfreint aucune loi. Qui est cet homme ?

4. C'est l'histoire d'une jeune fille. Aux funérailles de sa mère, elle aperçoit un jeune homme qu'elle ne connaissait pas. Elle le trouve fantastique, c'est le coup de foudre, elle en tombe éperdument amoureuse. Quelques jours plus tard, la jeune fille tue sa propre sœur. Pour quel motif a-t-elle tué sa sœur ?

---

1. Émission *60 minutes* de CBS, le 23 octobre 2011.
2. Moïra Mikolajczak, entretien réalisé le 27 avril 2015.
3. *Idem*.
4. Todd Lubart, entretien du 16 avril 2015.
5. Rex Jung, entretien du 8 mai 2015.
6. Les solutions se trouvent en fin d'ouvrage, p. 233.

CHAPITRE 5

Les neurosciences et les bases physiologiques de l'intelligence

« Les hommes doivent savoir que c'est du cerveau
et du cerveau seul que naissent nos plaisirs, nos joies,
nos rires et plaisanteries, aussi bien que nos chagrins,
nos douleurs, nos peines et nos larmes… »
Hippocrate

De l'Égypte ancienne à Descartes, en passant par Hippocrate et Vésale, nombreux furent les médecins et les hommes de science à s'intéresser à l'étude du cerveau pour expliquer la pensée humaine. Pour cela, beaucoup de disciplines scientifiques furent sollicitées : l'anatomie, la physiologie, la biologie, la chimie et la psychologie, pour ne citer que les principales. Mais nombre d'entre elles, tributaires des progrès techniques, durent laisser pendant longtemps à la seule psychologie le monopole des théories de l'intelligence. En effet, comme nous l'avons vu avec le QI, dès le début du XXe siècle, celle-ci a pu proposer des méthodes d'évaluation suffisamment performantes.

Durant le siècle dernier, les scientifiques ont progressé pas à pas dans la compréhension du cerveau, en calquant sur leurs découvertes des concepts importés de la psychologie. Ils cherchaient à trouver dans le fonctionnement du cerveau l'explication « physique » des comportements étudiés par la psychologie. Ce faisant, ils apportaient une caution scientifique à cette discipline, en lui permettant de valider ses observations par des méthodes expérimentales et de développer ainsi de nouveaux modèles théoriques.

Les années 1990 ont marqué un tournant dans cette quête : une véritable révolution s'est opérée dans les neurosciences. Le développement d'un certain nombre d'outils d'observation non invasifs, tel les IRMf (imagerie par résonnance magnétique fonctionnelle), TEP (tomographie par émission de positrons), MEG (magnétoencéphalographie), EEG (électroencéphalographie), SPIRf (spectrographie proche infrarouge fonctionnelle) métamorphosa l'étude du cerveau. Les neuroscientifiques, les biologistes et les généticiens purent commencer à visualiser nos cerveaux de l'intérieur, en temps quasi réel, établir des corrélations de plus en plus précises et élaborer des théories biologiques de l'intelligence. Aujourd'hui, ces outils, de plus en plus performants, permettent d'observer l'activité des neurones concernés par différents types de tâches mentales comme la perception, la mémoire, le raisonnement ou la créativité. Les travaux de Rex Jung sur le réseau du mode par défaut et la créativité, ou ceux qu'il a menés, avec Richard Haier, sur l'intelligence en développant le modèle P-FIT, en sont un parfait exemple.

La cartographie du cerveau

L'étude biologique de l'intelligence ne put s'appuyer pendant longtemps que sur des méthodes indirectes pour comprendre la structure et le fonctionnement cérébral. Méthodes au premier rang desquelles se trouvait l'étude des lésions cérébrales qui permettaient de déduire la fonction de certaines structures du cerveau. C'est ce qu'avait fait Paul Broca, en 1861, en présentant ses travaux devant la Société d'anthropologie de Paris. En autopsiant le cerveau d'un de ses patients aphasiques, baptisé Tan (car quelle que soit la question qu'on lui posât, il répondait toujours par « tan, tan »), il découvrit le centre de la parole, connu aujourd'hui sous le nom d'« aire de Broca », dans la troisième circonvolution du lobe frontal.

Dans la seconde moitié du XIXe siècle, âge d'or de la révolution industrielle, les découvertes et les inventions techniques s'accélérèrent. Les progrès de la chimie, de la physique et de l'optique, permirent d'aller de plus en plus loin dans la description et la compréhension du cerveau. En 1875, le médecin britannique Richard Caton montrait que des

fonctions, comme la vision, dépendaient de l'activité électrique de certaines zones. Trente ans plus tard, en 1906, Camillo Golgi et Santiago Ramón y Cajal, sont co-lauréats du prix Nobel de médecine pour avoir réussi à observer et à décrire les neurones.

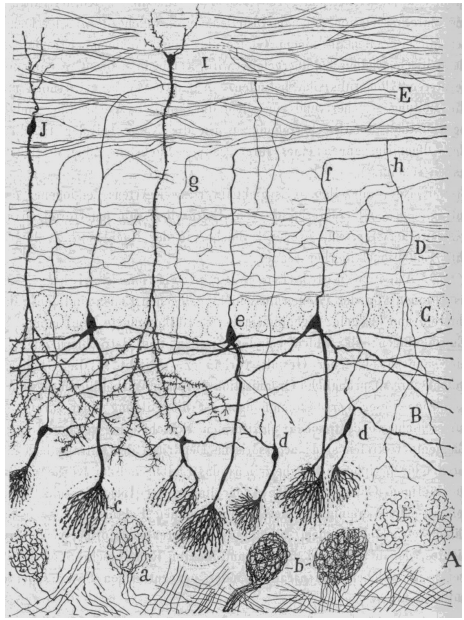


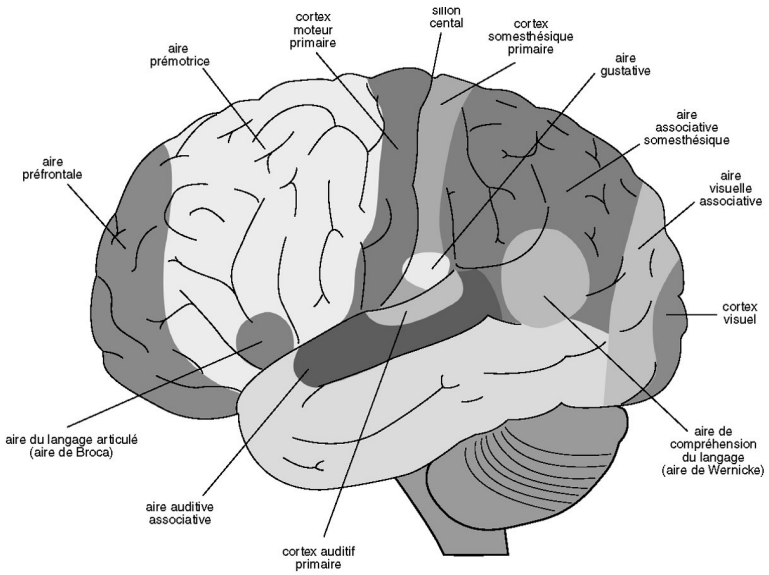
Illustration de Santiago Ramón y Cajal. Neurones de chats. 1899. Musée Cajal à Madrid.

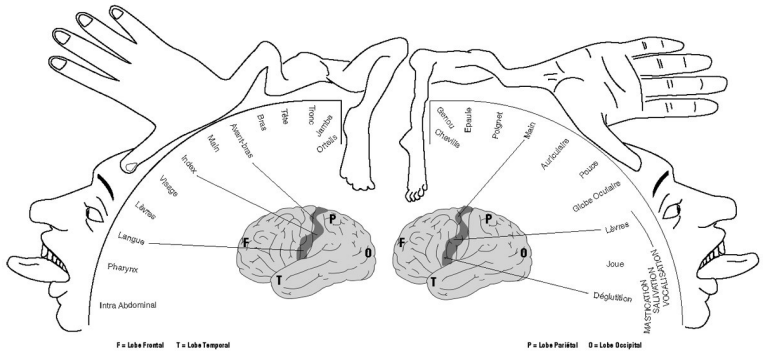
Grâce à toutes ces découvertes, les anatomistes purent, dès le début du XXe siècle, commencer à établir des cartographies du cerveau. La plus célèbre d'entre elles, dont on se sert encore aujourd'hui, est l'œuvre du neurologue allemand Korbinian Brodmann. Il s'intéressa à ce qu'on appelle le cortex cérébral (ou écorce cérébrale), la substance grise qui se trouve à la surface de notre cerveau. Il remarqua que l'organisation des cellules de notre cortex variait sensiblement d'une région à une autre. Certaines parties très anciennes du cortex, comme l'hippocampe, ne sont formées que d'une seule couche de cellules. D'autres, comme le cortex olfactif, en contiennent deux. Mais le cortex le plus élaboré, le néocortex, apparu seulement avec les mammifères et particulièrement développé

chez l'homme, en contient six.

Brodmann décida d'utiliser ces différences comme critère de délimitation des aires. À chaque région du cortex offrant la même organisation cellulaire, Brodmann affecta un numéro de un à cinquante-deux. Son intuition était qu'à une organisation anatomique donnée correspond une fonction particulière. Il avait ainsi prévu, par exemple, que l'aire 17 correspondait au cortex visuel primaire, et que l'aire 4 correspondait au cortex moteur. Intuitions qui se sont révélées justes par la suite.

Trente ans après les travaux de Brodmann, Wilder Graves Penfield, neurologue au Royal Hospital de l'université McGill de Montréal, s'est fait une spécialité du traitement de l'épilepsie en détruisant les neurones du cerveau à l'origine des crises. Il lui suffisait, avec une simple anesthésie locale, d'ouvrir le scalp et de stimuler électriquement le cortex pour délimiter précisément les zones à supprimer, tout en veillant à épargner les autres. Grâce aux résultats obtenus sur 163 patients, Penfield put encore affiner les cartographies du cerveau, essentiellement les parties du cortex consacrées aux sensations et à la motricité. En 1937, il publia un article richement illustré de photos et de coupes, où figure l'une des plus fascinantes images de l'iconographie médicale, l'« homoncule de Penfield ». Ce dessin, que n'aurait pas renié un peintre surréaliste, montre une coupe du cortex sensorimoteur, relié point par point aux différentes parties du corps humain qui leur correspondent.





Homonculus de Penfield.

Dès le milieu du XXe siècle, les scientifiques ont obtenu une vision assez précise du cortex cérébral qu'ils avaient divisé en zones fonctionnelles, appelées aires, chacune assurant une fonction bien définie.

Nous savons aujourd'hui que, bien que chaque zone soit spécialisée afin de fournir une réponse adaptée à un événement, plusieurs aires cérébrales doivent collaborer. Et le rôle de chef d'orchestre incombe aux

régions situées dans le cortex préfrontal. Ce dernier intègre les informations sensorielles et émotionnelles, organise les actions dans le temps et planifie le comportement en fonction de l'environnement.

Imaginez qu'il fasse beau et que vous décidiez d'aller lire dans un parc. Vous choisissez un endroit reculé et tranquille, à l'ombre d'un grand arbre. Soudain, vous entendez un bruit qui vous dérange. Vous levez la tête et regardez autour de vous.

L'aire visuelle primaire identifie une série de taches de couleurs, de lignes et de courbes. L'aire visuelle secondaire organise ces éléments, et la zone d'intégration visuelle reconnaît cette forme comme étant un enfant debout. Dans le même temps, l'aire auditive primaire capte des fréquences que l'aire auditive secondaire va organiser pour obtenir un son précis. L'aire d'intégration auditive reconnaît des pleurs, puis l'aire d'association pariétale, avec l'aide du lobe temporal, réussit à identifier la nature des pleurs : une vilaine écorchure au genou.

La nature du problème maintenant identifiée, il vous faut réagir. Le système limbique entre en jeu. Distribué entre les deux hémisphères, il vous rappelle, malgré votre agacement, que vous aimez bien les enfants. Il vous pousse à vous désintéresser de votre action en cours pour vous occuper en priorité de cet enfant. Notez que si les enfants vous apparaissent prodigieusement pénibles, y compris les vôtres, le résultat est le même, car c'est le même système qui gère ces deux émotions. Le cortex préfrontal prend alors la décision de consoler l'enfant (ou de lui enjoindre d'aller voir sa mère, selon le cas). L'aire motrice primaire commande à vos membres d'accomplir cette action, et l'aire motrice supplémentaire en supervise le déroulement.

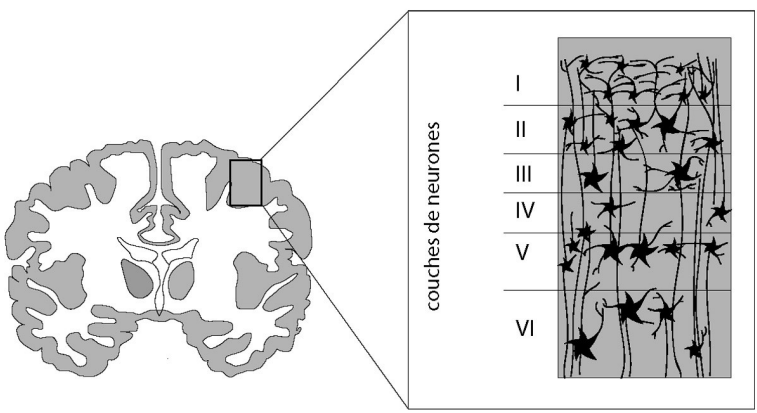
Finalement, grâce à la collaboration de différentes aires cérébrales, un comportement coordonné vous a permis de vous adapter à un problème posé par votre environnement.

Comprendre, afin d'accomplir une action complexe, que plusieurs parties de votre cerveau doivent collaborer, tout comme vos différents membres et organes, n'est pas véritablement révolutionnaire. Comprendre, dans le détail, comment cette organisation s'opère est passionnant et sans aucun doute d'un grand intérêt d'un point de vue médical, mais ne nous éclaire pas encore sur ce qui, dans le cerveau, pourrait constituer le support spécifique de notre intelligence. Car personne n'a encore débusqué une aire spécifique pour l'intelligence. Il

nous faut donc aller plus loin que l'organisation du cerveau en aires fonctionnelles.

L'architecture de l'intelligence

Brodmann, pour établir sa cartographie, s'était servi de la densité et de la taille des neurones dans chacune des couches du cortex. Le néocortex, comme nous l'avons vu, est constitué de six couches distinctes de neurones aux fonctions différentes, numérotées de I à VI (I étant la plus externe et VI la plus profonde).



Jusque dans les années 1950, les scientifiques pensaient que c'était dans cette organisation des neurones en couches horizontales (la lamination) qu'il fallait chercher l'explication des propriétés du cortex à l'origine des facultés cognitives. Mais en 1957, un neuroscientifique américain, Vernon Benjamin Mountcastle, surnommé par certains le « Jacques Cousteau du cortex », fit une découverte qui allait changer considérablement notre manière d'envisager le fonctionnement du cerveau. En introduisant verticalement une microélectrode dans le cerveau, donc perpendiculairement au cortex, il constata que tous les

neurones stimulés répondaient de la même manière au même stimulus. Par contre, lorsqu'il introduisait horizontalement la microélectrode, donc parallèlement à la surface du cortex, les neurones stimulés répondaient différemment.

Il mit ainsi au jour une structure essentielle de notre cerveau, non pas horizontale, mais verticale, qu'il baptisa : colonnes corticales. Ce sont les unités fonctionnelles de base de notre cortex.

Deux ans après la découverte de Mountcastle, David Hubel et Torsten Wiesel étudièrent les colonnes du cortex visuel, ce qui leur valut le prix Nobel de médecine en 1981. Grâce à leur remarquable travail, nous connaissons aujourd'hui de façon relativement précise le fonctionnement de cette partie du cerveau. De leurs travaux, il ressort un lien évident entre structure et fonctionnement du cortex visuel.

De la fabrication des images…

Les progrès des neurosciences ont été tels ces dernières années que nous sommes parvenus à un degré de précision dans la description du cerveau absolument extraordinaire. Nous connaissons donc aujourd'hui relativement bien le cortex visuel et les mécanismes cérébraux qui nous permettent de former des images à partir de nos stimuli visuels. En se basant sur le fait que le cortex dans son ensemble présente une structure en couches et en colonnes relativement homogènes, similaire au cortex visuel, certains scientifiques ont proposé une théorie biologique de l'intelligence fondée sur l'architecture du cerveau.

Les expériences de Hubel et Wiesel ont montré que les neurones du cortex sont arrangés en micro-colonnes de cent dix neurones partageant la même fonction. Ces micro-colonnes sont elles-mêmes regroupées en colonnes, à raison de mille micro-colonnes, au comportement similaire, par colonne. À l'intérieur de ces colonnes, les neurones de chaque couche communiquent avec ceux situés au-dessus et au-dessous. Ces groupes de colonnes sont en principe dédiés à des types spécifiques de messages, par exemple la perception d'une ligne verticale. Enfin, les colonnes corticales voisines sont assemblées au sein de « cartes » spécialisées qui traitent un même type d'information.

D'après ce que l'on sait aujourd'hui, le cortex visuel « découpe » le monde visible en trois types d'informations : la couleur, la forme et le mouvement.

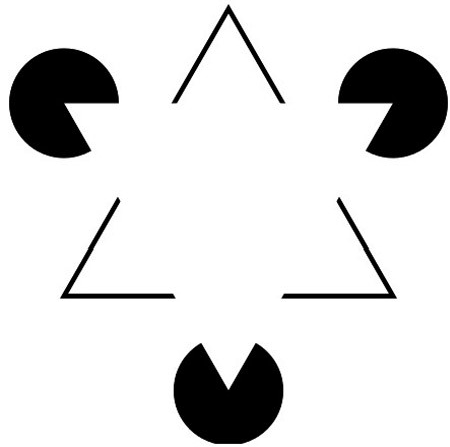
Mais comment, à partir de ces informations disparates, les cartes corticales spécialisées interagissent-elles pour fournir finalement une image unifiée ? L'hypothèse la plus simple serait qu'elles communiquent le résultat de leurs opérations à une aire unique qui intégrerait toutes ces informations. Mais il n'a jamais été trouvé de structure anatomique à laquelle toutes les aires spécialisées seraient connectées. En fait, il semblerait qu'elles se connectent entre elles directement et réciproquement. Des recherches portent actuellement sur l'existence de connexions entre toutes les cartes du cortex visuel, qui permettraient une perception et une compréhension simultanées du monde et non une intégration à un seul niveau après que chacune a terminé ses opérations.

Par exemple, pour comprendre un mouvement, le cerveau doit déterminer quels éléments du champ visuel se déplacent dans la même direction et à la même vitesse. Les cellules du mouvement peuvent faire cette analyse car elles possèdent de larges champs récepteurs. Cependant, en raison même de la grande taille de leurs champs récepteurs, les cellules du mouvement localisent mal les stimuli. Pour obtenir une information spatiale précise, le cerveau doit se référer à une aire qui possède une représentation précise du champ visuel. Les cellules du mouvement renvoient sans doute leurs informations vers ces aires, qui les relocalisent sur le champ visuel. Les mêmes opérations sont faites pour tous les types d'informations. Ainsi, les différentes zones du cortex se synchronisent et échangent leurs informations pour recréer une image cohérente.

Ces connexions « réciproques » permettent à l'information de circuler dans les deux sens entre des zones différentes. Elles permettent également d'arbitrer un conflit entre des cellules qui réagissent aux mêmes stimuli (par exemple des traits) mais jouissent de capacités différentes.

Les illusions d'optique fournissent un bel exemple de ce processus. Elles nous montrent que nous ne voyons pas le monde comme un appareil photo qui restitue mécaniquement ce qui est, mais que les images que nous voyons sont une reconstruction de notre cerveau. Dans l'exemple ci-dessous, appelé motif de Kanizsa, un triangle blanc semble se découper au-dessus d'un triangle à contour noir, alors qu'il n'est pas tracé. Cet effet

est connu sous le nom de contour subjectif.



Les chercheurs ont montré que les cellules de la forme ne réagissent pas lorsqu'on regarde la figure et ne détectent pas la ligne absente. Par contre, elles envoient des informations à d'autres cellules qui exercent une fonction analytique supérieure. Des cellules qui peuvent percevoir à la fois une forme et un mouvement, par exemple. À chaque échange entre cellules, un niveau supérieur d'intégration des informations est atteint. À chacun de ces niveaux, chaque cellule « voit » plus que celles de niveau inférieur et les cellules les plus « hautes » dans cette organisation, bénéficient du pouvoir d'abstraction le plus élevé. C'est à ce dernier niveau que l'image finale se forme, si bien que ces cellules sont capables « d'imaginer » ou plutôt de « déduire » la présence d'une « ligne » à la place du contour blanc inexistant.

Cette illusion d'optique nous montre comment diverses cellules collaborent pour former une image dans notre cortex visuel. De la même manière, notre cortex tout entier serait constitué de multiples cartes interconnectées. Nous avons vu avec l'exemple du lecteur dans le parc, comment les différentes aires du cerveau collaborent et échangent pour analyser notre environnement et nous permettre d'y réagir. Il semblerait qu'à un niveau plus profond de la structure de notre cerveau, dans chaque aire, les colonnes et les cartes corticales agissent de la même

manière à partir d'informations fragmentaires que notre cerveau extrait du monde sensible.

… à la fabrication des concepts

Les neurones de notre cerveau ont une propriété fondamentale qui s'appelle la plasticité neuronale. Ils se transforment en permanence en fonction des stimuli qu'ils reçoivent. Nous retrouvons ce principe dans l'organisation des cartes corticales. Elles sont dynamiques et dépendent des informations que nous recevons.

Reprenons l'exemple du cortex visuel, avec le traitement des informations relatives à la couleur. Le fond de notre œil, la rétine, est tapissé de cellules nerveuses, les cônes, qui sont sensibles aux couleurs, mais pas tous de la même façon. Certains sont surtout sensibles au rouge, d'autres au vert et enfin les derniers au bleu. Donc, toutes les couleurs que nous voyons, du rouge au violet, sont « fabriquées » par notre cerveau qui mélange ces trois couleurs primaires. Voilà pourquoi tous nos appareils visuels (téléviseur, caméra) sont fabriqués selon un modèle couleur RVB (rouge vert bleu), pour se caler sur le fonctionnement de l'œil humain.

Pour chacune des trois couleurs primaires, nous pouvons distinguer deux cents nuances, de la plus claire à la plus foncée. Notre cerveau pourrait donc « voir » jusqu'à 200 x 200 x 200 = 8 millions de mélanges de couleurs.

À notre naissance, chaque couleur vue par notre œil est projetée sur la carte des couleurs. Nous apprenons ainsi, progressivement, à reconnaître le noir, le blanc et les trois couleurs primaires (rouge, vert, bleu), qui sont les couleurs les plus fréquentes. Plus tard, nous apprenons à reconnaître les couleurs secondaires (mélange des couleurs primaires en proportions égales) puis les couleurs tertiaires (mélange des couleurs primaires en proportions inégales), qui seront également représentées sur la carte des couleurs. Cette association se construit graduellement, en suivant des règles simples :

- Seules les couleurs les plus fréquentes sont interprétées.
- Plus les couleurs sont « similaires », plus elles seront représentées par

des neurones voisins.
- Les couleurs les plus fréquentes sont associées à plusieurs neurones voisins.
- La perception des couleurs dépend aussi de notre environnement et de l'apprentissage que nous en avons reçu.

Avant l'apprentissage, les neurones de la carte ne sont pas organisés. Lorsqu'une première couleur apparaît, tous les neurones reçoivent la même information. Le neurone « gagnant », qui sera excité le premier, modifiera sa structure, en renforçant ses connexions avec les cellules d'où provient l'information (les cellules de la rétine). Cet apprentissage permettra à ce même neurone de reconnaître facilement la couleur chaque fois qu'elle lui sera présentée. Puis, le processus est répété pour toutes les couleurs. La carte devient ainsi notre perception du monde, notre réalité « colorisée ».

Mais une fois cet apprentissage accompli, que se passe-t-il si nous changeons d'environnement ? Rien, pensez-vous, car les couleurs sont identiques en tous lieux ainsi que les yeux qui les perçoivent. Et pourtant. Ce processus d'apprentissage ne s'arrête jamais, améliorant sans cesse la qualité de la représentation sur la carte. Un neurone est ainsi fait qu'il ne peut s'empêcher de se modifier en fonction des stimuli qu'il reçoit. S'il perçoit des changements dans l'environnement, le neurone se transforme. Cette plasticité neuronale nous permet d'apprendre en permanence, à tout âge, et nous permet de changer d'environnement et de nous y adapter.

Imaginez que vous deviez effectuer une enquête sur la perception des couleurs dans différents endroits du monde. Il vous faudra tenir compte de l'influence des facteurs d'origine culturelle. En effet, il semble que l'aptitude à discriminer avec précision les couleurs varie selon les populations. Certains peuples disposeraient d'un vocabulaire plus limité et confondent certaines couleurs que d'autres sont capables de différencier. Vous débutez votre voyage en Papouasie-Nouvelle-Guinée. Avec plus de huit cents dialectes recensés, c'est le pays au monde où l'on parle le plus de langues différentes. L'une d'elles, le dan, ne distingue que les choses claires, « mola », et foncées, « mili ». Une fois ces deux mots acquis, il est relativement facile d'échanger avec les autochtones sur la description de la faune et de la flore. Votre carte des couleurs est suffisamment riche pour distinguer des éléments en fonction de deux

nuances uniquement. Puis, vous poursuivez votre périple chez les Inuits. Après quelques semaines, une fois encaissé le choc thermique, vous commencez à vous familiariser de plus en plus avec la langue locale, l'inuktitut et notamment les quelques dizaines de mots utilisés pour désigner la neige, parmi lesquels :

> Aneogavineq, « neige très dure et compacte » ;
> Aomyolc, « neige fondante » ;
> Aqilluqqaaq, « neige fraîche et boueuse » ;
> Ijaruvak, « neige fondue transformée en cristaux » ;
> Katakartanaq, « neige croustillante » ;
> Kinirtaq, « neige mouillée et compacte » ;
> Manngoq, « boue de neige » ;
> Masaq, « neige humide qui tombe » ;
> Pukak, « neige cristallisée qui s'effrite ».

Rien d'étonnant, pensez-vous, puisque la neige occupe une place extrêmement importante dans leur vie. Mais lorsque vous parlez avec vos nouveaux amis, vous vous apercevez qu'ils peuvent distinguer environ sept nuances de blanc tandis que vous avez un mal fou à faire la différence entre le blanc et… le blanc. Votre carte codant les couleurs est complètement dépassée par les événements. Vous êtes contraint d'hiverner sur place pour reprogrammer la carte en question. Après plusieurs mois sur place, vous parvenez enfin à associer une nuance de blanc à une qualité de neige ainsi qu'à un mot.

De la fabrication des concepts à l'intelligence

La structure en couches et en colonnes du néocortex nous permet de traiter et d'organiser en parallèle les nouveaux messages envoyés par nos sens et ceux que nous avons déjà intégrés durant notre vie. Par exemple, un stimulus visuel (une couleur), un mot ou différentes sensations et conditions qui forment une qualité (celle de la neige), permettent à notre esprit de coder un concept, ici, en l'occurrence, celui de neige. Chaque fois qu'une information reliée à la neige (un mot, une sensation, une couleur) sera reconnue, de manière isolée, ou fusionnée à d'autres, le

concept de neige sera activé. Ce concept s'est construit à partir d'expériences uniques qui nous sont personnelles.

Ce système est fondé physiologiquement sur un principe de perception, puis de mémorisation de notre environnement selon un procédé que l'on nomme en neurosciences « *pattern recognition* » ou « reconnaissance de modèle ».

Nous accumulons au cours de notre vie une multitude d'expériences, dans lesquelles nous percevons et reconnaissons des « patterns » de nature différente, comme par exemple la forme d'un visage, une note de musique, une couleur, un symbole ou bien encore un élément de langage. La mémorisation et l'organisation de ces expériences, sous la forme de séquences d'événements et de relations entre ces séquences, représentent notre vision subjective du monde. À partir de ces contenus de mémoire, notre cerveau réalise à tout instant des prédictions que nous confrontons aux situations nouvelles. Si nous constatons des différences entre notre mémoire, notre prédiction et notre observation, nous mémorisons alors les modifications éventuelles qui deviennent une nouvelle base de prédiction. Ce principe est aujourd'hui très largement reconnu par les scientifiques. Personne ne doute de cette capacité de l'esprit à reconnaître, mémoriser, répéter, associer ces patterns.

Le système mémoire-prédiction

N'oublions pas que notre cerveau nous aide à agir dans un monde cohérent et régulier, constitué de répétitions que nous cherchons à retrouver en formulant à chaque instant des prédictions sur ce qui est le plus probable. Entre deux instants successifs, peu de choses varient. Par exemple, si nous regardons un enfant dans un parc venir vers nous, une seconde plus tard, il sera un peu plus gros, mais il sera vêtu de la même façon, il marchera dans la même direction, et les bancs publics n'auront pas changé de place. Dans une discussion, c'est la même chose. À un instant donné de la conversation, il est possible d'anticiper le prochain mot qui sera prononcé. En fonction du contexte, de l'interlocuteur, des règles de syntaxe et de grammaire, du mot précédent, etc., le nombre de mots candidats s'avère réduit.

Dans notre monde, fini et stable, nous savons que les situations que nous vivrons dans un futur proche seront la continuation de la situation actuelle. Il est donc essentiel pour nous de prévoir ces situations. C'est ce

qu'accomplit notre cerveau. Il prévoit un ensemble de situations à venir, possibles et plausibles, en fonction de ce qu'il sait déjà. En règle générale il y parvient, mais lorsque les informations entrantes sont incomplètes ou contradictoires, il tombe dans l'erreur, comme dans les illusions d'optique.

Mais certains chercheurs vont plus loin et affirment que c'est ce système de mémoire-prédiction qui constitue la base du fonctionnement de l'esprit humain et donc la plus grande partie de l'intelligence humaine.

Les psychologues du développement savent depuis de nombreuses années que les bébés comprennent très tôt les principes d'unité et de permanence des objets – ceux-ci continuent d'exister même s'ils ne les voient plus –, de nombre, et de causalité. Selon la psychologue américaine Alison Gopnik, de l'université de Berkeley en Californie, les bébés et les jeunes enfants acquièrent ces compétences par le biais d'outils statistiques. Ils détectent des motifs statistiques et les utilisent pour faire des prédictions sur leur environnement.

Par exemple, un expérimentateur montre à des bébés de huit mois une grande boîte emplie de balles blanches et rouges. Puis, il ferme les yeux et prend au hasard quelques balles de la boîte pour les disposer dans une autre boîte, plus petite. Après le tirage, les bébés découvrent un échantillon de balles dans la petite boîte. Mais lorsque ce résultat s'avère non conforme aux probabilités, en ne respectant pas les mêmes proportions de balles rouges et blanches, les bébés sont surpris et regardent plus longtemps les deux boîtes. Ils ont parfaitement remarqué la transgression de la règle…

D'autres études ont montré que les bébés utilisent fréquemment cette capacité sur des images, des comportements, des phrases. Ils repèrent des répétitions dans leur environnement, établissent des prédictions et vérifient si elles se réalisent. Cette extraordinaire capacité n'est pas infaillible, et nous ne nous appuyons pas exclusivement sur elle. Malgré tout, elle fournit un outil essentiel pour l'apprentissage dès le plus jeune âge, qui ne peut s'expliquer que par le fonctionnement biologique du cerveau.

Un cerveau statisticien

Pour le neuroscientifique Stanislas Dehaene, cette découverte fonde une nouvelle théorie générale du fonctionnement du cerveau. L'organisation relativement homogène de tout le néocortex en couches, en

colonnes et en cartes corticales, se révèle innée et identique pour tous. Elle se fait automatiquement en suivant le programme génétique. Ce sont ces régularités structurelles dans l'architecture du cerveau qui expliquent son fonctionnement. Elles sont à la base du fonctionnement du cerveau selon une règle apprentissage-mémorisation-prédiction.

Des algorithmes « innés » effectueraient en permanence des calculs statistiques qui s'appliqueraient à toutes sortes de domaines. Nous formons des hypothèses « vagues », à partir des informations préalablement mémorisées sur notre environnement. Puis, au fur et à mesure de nos expériences, nous comparons nos observations à nos prédictions. Une fois les différences reconnues, de nouvelles mémorisations remplacent les précédentes et nous rectifions le modèle de départ, pour affiner les prochaines prédictions. Le cerveau peut ainsi optimiser en permanence son adaptation aux changements de l'environnement.

De l'intelligence humaine à l'intelligence artificielle

D'après les tenants de telles théories, une grande partie de nos extraordinaires capacités cognitives provient de l'organisation même des unités fonctionnelles qui constituent notre cerveau. C'est la structure du cerveau, ce maillage hiérarchisé et massivement interconnecté d'éléments fonctionnels de différentes échelles, qui serait le secret de notre intelligence.

Le deep learning

Les chercheurs en intelligence artificielle ne s'y sont d'ailleurs pas trompés, et ils s'appuient sur des architectures similaires pour développer les capacités des machines « intelligentes ». Depuis les années 2010, les recherches dans le domaine du *deep learning* (apprentissage profond) ont accompli des progrès considérables, en particulier grâce aux très gros investissements fait par les GAFA (les géants d'Internet Google, Apple, Facebook, Amazon).

Les recherches dans ce domaine s'inspirent des recherches en

neurosciences sur le traitement de l'information, les modèles de communication et l'architecture du système nerveux. Les techniques de *deep learning* copient les couches du néocortex. Elles utilisent un système virtuel composé de réseaux de milliers de neurones artificiels, qui effectuent chacun de petits calculs simples. Ensuite, comme les neurones du cortex visuel qui adressent de simples informations à d'autres neurones qui les intègrent, les résultats de la première couche de neurones artificiels vont servir d'entrée au calcul de la seconde couche.

À chaque étape – il peut exister jusqu'à vingt couches – le système enchaîne progressivement des paramètres de bas niveau à des paramètres de plus haut niveau d'abstraction.

L'une des réalisations les plus spectaculaires du *deep learning* s'est déroulée en 2012, lorsque le projet Google Brain s'est avéré capable de « découvrir », par lui-même, le concept de l'animal chat. Les 16 000 ordinateurs organisés en réseau ont analysé 10 millions de captures d'écran aléatoires. À l'issue de trois jours, le programme avait appris lui-même à détecter des têtes de chats. Plus récemment, grâce à ces techniques bio-inspirées, Google Deepmind, une filiale de Google, a mis au point un programme de jeu de go (un jeu de stratégie beaucoup plus complexe que les échecs) qui s'est révélé capable de battre le champion du monde, Lee Sedol, par quatre victoires à une ! Cet exploit retentissant, intervenu en mars 2016, a vraiment impressionné les spécialistes. Dans ce jeu, inventé en Chine il y a environ trois mille ans, deux joueurs tentent de se partager un plateau de dix-neuf lignes sur dix-neuf en créant des territoires délimités par des pierres noires et blanches. Le nombre de combinaisons à explorer est si grand que personne ne pensait qu'une machine puisse battre un joueur professionnel de go avant les années 2030-2040. Mais en s'inspirant de l'architecture du cerveau humain, Google a réussi à augmenter considérablement l'intelligence des machines.

Heureusement, elles sont encore loin de nous égaler. Car s'il existe une analogie entre les réseaux de neurones artificiels et le cerveau humain, le *deep learning* n'est pas pour autant à l'image de notre cerveau. Yann LeCun, l'un des grands spécialistes mondiaux en intelligence artificielle, nous le rappelle dans sa leçon inaugurale au Collège de France : « Un réseau neuronal n'est pas un modèle précis des circuits du cerveau, mais est plutôt vu comme un modèle conceptuel ou fonctionnel. Le réseau neuronal est inspiré du cerveau un peu comme l'avion est

inspiré de l'oiseau[1]. » Yann LeCun est aujourd'hui directeur du laboratoire d'intelligence artificielle de Facebook. Et pour ceux qui s'inquiètent de la possible émergence de machines folles issues d'un scénario de film hollywoodien, il les rassure : « Comprendre l'intelligence est une des grandes questions scientifiques de notre temps. L'intelligence artificielle sera un amplificateur de notre intelligence et non un substitut pour celle-ci[2]. »

Le vivant : une reprogrammation permanente

Le plus remarquable avec le néocortex, c'est que contrairement à un ordinateur, les entrées et les sorties d'informations ne s'effectuent pas que dans une seule direction. Les patterns se forment dans chacune des six couches de neurones, et chaque couche de neurones reçoit et émet des informations, influençant ce que reçoivent et émettent les autres couches. Les scientifiques ont confirmé que plus de la moitié des échanges d'informations entre les couches supérieures du cortex, siège des fonctions nobles (raisonnement, association, intégration, etc.) et les couches inférieures, (informations transmises par nos sens) se réalisent dans le sens descendant. Les spécialistes pensaient jusque-là que le sens ascendant primait.

Les nombreuses cartes corticales qui constituent chacune des couches reçoivent des informations d'un organe sensoriel (œil, oreille, nez, peau) ou d'une ou plusieurs autres cartes – et elles sont obligées d'en tenir compte. Les cartes apprennent et s'organisent dès que des informations leur parviennent. Une couche adresse une prédiction à une autre couche qui la compare instantanément et la modifie, si besoin, compte tenu des nouvelles informations acquises. Ces prédictions entraînent une action de notre part, nous faisant agir sur le monde environnant. De ce fait, nous le modifions, ce qui provoque en retour de nouvelles informations que notre cerveau traite par le biais des cartes, etc. Ces boucles de rétroaction permanentes impliquent que notre cerveau se reprogramme en permanence d'une certaine manière, en fonction de sa perception de l'environnement et de ses propres actions. La véritable différence entre l'intelligence du vivant et celle d'une machine provient de cette interaction circulaire du vivant. Le neurobiologiste chilien Francisco Varela a baptisé ce phénomène l'« énaction » ou la cognition incarnée. Une théorie entre science et philosophie, qui envisage la cognition comme

une auto-organisation de l'esprit en fonction de l'environnement.

> La pensée, l'esprit, descend dans notre corps, nos jambes, nos yeux, qui inventent et construisent en permanence le monde qui nous entoure – lui-même entrant en interaction avec nous, nous façonnant, nous fabriquant. Nous perdons toute notion de « sujet intelligent unique », pour penser une coévolution, une coconstruction perpétuelle. Un organisme vivant autonome construit le monde qui l'entoure, qui lui-même révèle les capacités de construction et d'adaptation de l'organisme. Le réel devient un échange permanent et créateur de créatures indépendantes, à la fois toutes physiques et toutes « spirituelles ». Le réel n'est pas donné, mais incarné, recréé, sans cesse reconstruit[3].

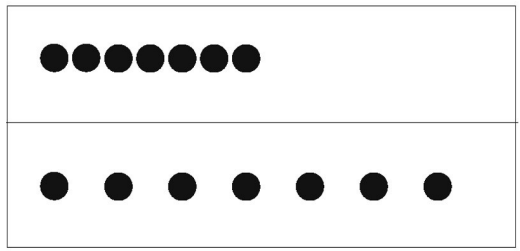
La résistance cognitive

Si les théories divergent dans le détail de leurs explications, de leur terminologie, de leur fonctionnement, un point commun à l'ensemble d'entre elles semble acquis : ce qui prime dans l'intelligence, c'est le réseau. Qu'on les appelle « patterns », « cartes » ou « aires », c'est la communication entre différentes zones du cerveau qui produit l'intelligence. Qui plus est, pour chaque type de problème posé par notre environnement, notre cerveau active plusieurs circuits. Nous devons être capables de proposer plusieurs solutions à un même problème, et de disposer de différentes méthodes pour y parvenir. Olivier Houdé, professeur de psychologie à l'université de la Sorbonne, est spécialiste de ce qu'il nomme la « résistance cognitive ». En étudiant le développement de l'intelligence chez les enfants, il en a déduit que notre cerveau était biologiquement conçu pour disposer de différentes règles logiques organisées en systèmes. Deux systèmes principaux existeraient, un système intuitif et un système logique.

Le système intuitif permet d'apporter une réponse rapide en évitant une réflexion gourmande en temps et en énergie. Ce sont des stratégies très rapides, globales, qui fonctionnent très bien, très souvent, mais pas toujours. Le système logique est basé sur d'autres stratégies, les

algorithmes. Ce terme revêt le même sens en psychologie qu'en informatique. Il s'agit de stratégies plus lentes, plus analytiques, qui demandent de la réflexion, mais qui conduisent, à la différence du système intuitif, toujours et nécessairement au bon résultat.

Prenons un exemple simple : le comptage. On présente à un enfant la figure ci-dessous et on lui demande : « Où y a-t-il le plus de points ? »



Jusqu'à six ou sept ans, tous les enfants du monde vont répondre : en bas, parce que la ligne est plus longue. Le cerveau de l'enfant est piégé par l'intelligence visuo-spatiale selon laquelle longueur est égale à nombre. En général, dans l'environnement, cette estimation est juste. Sur les rayons d'un supermarché, s'il existe un alignement de produits identiques plus long, nous estimons qu'il y en a plus. C'est une intuition de quantification. Ce mode de fonctionnement rapide correspond aux comparaisons perceptives que nous faisons en général dans l'environnement. Ce processus est tellement impulsif qu'il domine le cerveau et empêche l'expression d'un algorithme de comptage qui, lui, conduit logiquement à la bonne réponse. D'après Olivier Houdé, l'intelligence ne réside pas dans l'intuition ou dans l'algorithme, mais dans le fait d'utiliser la bonne méthode au bon moment. Et pour cela, il faut inhiber la mauvaise stratégie. Ce que nous, adultes, avons tous appris à faire pour le comptage. La neuroscientifique canadienne Adèle Diamond a montré que cette capacité d'inhibition est un excellent prédicteur, meilleur que le QI, des performances scolaires et de l'adaptation professionnelle. Malheureusement, notre cerveau est souvent piégé, le plus souvent inconsciemment, par ce type de conflits, ce que les psychologues nomment un biais cognitif. En voici quelques exemples courants :

Le biais de croyance
Il survient lorsque le jugement sur la logique d'un argument est biaisé par la croyance en la vérité ou la fausseté de la conclusion. Nous pouvons ignorer des erreurs de logique si la conclusion correspond à nos croyances.

Le biais de confiance
Des expériences ont montré que, dans divers domaines, plus de la moitié des participants estiment avoir de meilleures capacités que la moyenne. Ainsi, nombreuses sont les personnes qui estiment avoir une intelligence supérieure à la moyenne.
Le biais de conformisme
C'est la tendance à penser et agir comme les autres le font.

Le biais d'appariement
Ce biais est déclenché par une intuition qui, en présence d'une négation, focalise notre attention sur ce qui est nié. Il suffit de dire à quelqu'un de ne pas penser à quelque chose, pour qu'aussitôt se forme dans son esprit une image de ce à quoi il ne doit pas penser.

Le biais de représentativité
Il s'agit d'un raccourci mental qui consiste à porter un jugement à partir de quelques éléments qui ne sont pas nécessairement représentatifs. Par exemple, une personne agréable physiquement sera perçue comme intelligente et digne de confiance.

L'effet Barnum
Ce biais consiste à accepter une vague description de la personnalité comme s'appliquant spécifiquement à soi-même. Les horoscopes jouent sur ce phénomène.

Le biais de cadrage
C'est le biais de la bouteille à moitié pleine ou à moitié vide. Il intervient lorsque nous sommes influencés par la manière dont un problème est présenté. Par exemple, accepter ou non une opération chirurgicale peut être influencé par le fait que cette chirurgie est décrite en termes de taux de succès ou au contraire en termes de taux d'échec. Et cela même si les deux chiffres fournissent la même information !

Heureusement pour nous, d'après Olivier Houdé, cette capacité d'inhibition peut s'éduquer. La cartographie de notre cerveau, établie par les tests spécifiques, peut nous montrer quels sont les intuitions et les

algorithmes en compétition dans notre manière de raisonner. En rendant ces mécanismes conscients, en rendant évidentes les erreurs de raisonnement et en s'efforçant de les corriger, nous pouvons progressivement « recâbler » nos circuits préférentiels par l'entraînement. Nous devenons ainsi capables d'inhiber ou d'activer le bon mode de raisonnement au bon moment, le plus adapté, donc le plus intelligent.

Le cerveau en action : complexité et plasticité

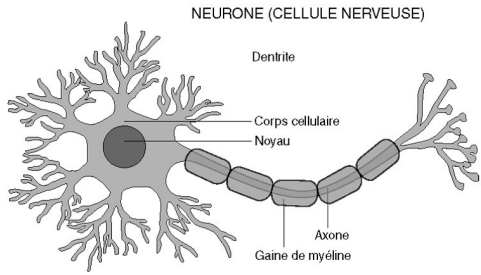
Nous avons vu que la structure générale du cortex en colonnes et en couches de neurones était une donnée génétique, identique pour tous. De cette structure dépend apparemment une grande partie des propriétés de notre intelligence. Les recherches ont démontré, par ailleurs, l'absence d'un centre de l'intelligence, et l'interaction de multiples aires du cerveau qui agissent en parallèle et de manière complexe dans tous les processus cognitifs. Le cortex préfrontal joue sans doute un rôle prépondérant pour l'intégration, la coordination et l'inhibition des différentes zones, mais cela n'en fait pas pour autant le centre de l'intelligence, tout au plus peut-on le considérer comme l'aiguilleur principal.

Cette partie du cerveau présente la particularité de posséder une proportion plus importante de neurones tissant des axones longs qui la connectent aux différentes aires cérébrales. Le cortex préfrontal peut donc, potentiellement, inhiber ou activer les bons réseaux de neurones au bon moment. Le secret de l'intelligence, expliquant les différences d'aptitudes intellectuelles individuelles, résiderait ainsi peut-être dans la qualité et l'efficacité de cette communication. Il nous faut donc comprendre comment l'information circule dans le cerveau.

La matière grise : l'autoroute de l'information

Le cortex constitue la fameuse matière grise. C'est là que se trouvent les neurones, ou plus particulièrement leur corps cellulaire. Le corps cellulaire d'un neurone est son centre vital, il contient tous les éléments qui assurent son fonctionnement (dont le noyau enfermant l'ADN, comme au cœur de chaque cellule humaine). Un neurone échange en

permanence des signaux avec ses voisins, grâce à des zones de connexion, les synapses, au nombre de dix mille en moyenne. L'information circule sous la forme d'une onde électrique le long de son câble principal, l'axone, puis se transmet par l'intermédiaire de molécules chimiques, les neurotransmetteurs, des synapses aux dendrites des autres neurones. Les dendrites sont des ramifications neuronales par où l'information arrive : alors qu'un neurone n'a qu'un axone, il a des centaines de dendrites.



Il faut noter toutefois qu'une seule synapse a peu d'effet sur le comportement du neurone. Il en faut un grand nombre pour obtenir une excitation ou une inhibition du neurone. Le nombre de synapses entre deux mêmes neurones est de quelques centaines ou milliers. Un neurone est donc connecté, au maximum, à quelques centaines d'autres neurones. Le neuropsychologue canadien Donald Hebb a formalisé en 1949 la célèbre règle qui porte son nom, utilisée autant en neurosciences que pour les réseaux de neurones artificiels en informatique. Cette règle prévoit que si deux neurones interconnectés sont actifs en même temps, alors ils vont renforcer leurs connexions. Si l'on observe le lieu de la connexion entre deux neurones, les synapses, nous remarquons en effet qu'une synapse active de manière répétée augmente de taille. Cela lui permet de libérer et de capter plus de neurotransmetteurs, les messagers chimiques entre deux neurones.

Imaginez deux villes. L'une produit du cuivre et l'autre de l'étain. Si elles échangent ces métaux, elles pourront toutes les deux augmenter la diversité de leur production en créant un nouveau métal, du bronze. Elles décident donc de faire du commerce, et pour cela construisent une route qui les relie. Le bronze qu'elles produisent est de tellement bonne qualité

qu'il a de nombreuses applications, tout le monde se l'arrache. Les échanges augmentent entre les deux villes, et bientôt pousse une autoroute à huit voies. Cette capacité physique des neurones à se transformer et à renforcer leurs connexions pour échanger plus d'informations, explique en partie, comme nous l'avons déjà évoqué en parlant des cartes corticales, la plasticité cérébrale qui nous permet d'apprendre et de nous adapter. Il s'agit là de deux facultés essentielles de l'intelligence. Si les synapses jouent un rôle aussi important dans la communication cérébrale, nous pourrions imaginer que notre intelligence dépend de leur nombre. Mais les choses sont loin d'être aussi simples.

Voici maintenant deux tests pour vous permettre d'évaluer votre capacité d'inhibition.

Le test de Stroop

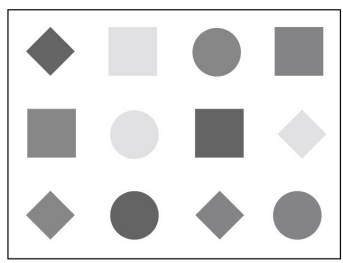
L'effet Stroop fut rapporté par John Ridley Stroop en 1935. Il remarqua que lorsqu'on demandait à quelqu'un de dénommer la couleur avec laquelle est écrit un mot quelconque, il y parvient plus facilement lorsque le mot et la couleur correspondent (ROUGE écrit en rouge) que lorsqu'ils sont différents (ROUGE écrit en vert). L'effet Stroop prouve l'existence d'une interférence entre deux traitements cognitifs : nommer des couleurs et lire. L'effet Stroop lié à la lecture n'existe pas chez les enfants qui viennent d'apprendre à lire, ni chez les analphabètes. C'est parce que nous savons bien lire que cette lecture empêche de dénommer correctement les couleurs.

Essayez maintenant de nommer les couleurs des mots suivants le plus vite possible, mais, attention, sans les lire.

ROUGE	BLEU	JAUNE	VERT	ROUGE
BLEU	ROUGE	VERT	JAUNE	BLEU
VERT	JAUNE	BLEU	ROUGE	VERT
ROUGE	JAUNE	VERT	ROUGE	JAUNE
JAUNE	BLEU	VERT	BLEU	ROUGE
ROUGE	VERT	ROUGE	VERT	JAUNE

Le biais d'appariement

Le psychologue anglais Jonathan Evans fut le premier à émettre la théorie du double système intuitif et algorithmique en 1984. Pour tester le biais d'appariement, il se livra à une expérience avec quelques formes géométriques en donnant comme consigne : « Choisissez une association qui réfute la règle : s'il n'y a pas de carré rouge à gauche, alors il y a un cercle jaune à droite. » Il remarqua qu'au lieu de se concentrer sur le raisonnement logique, notre cerveau bute sur la négation. Essayez, vous verrez bien[4].



Lorsque l'activité du cerveau à la naissance est enregistrée à l'aide d'un électro-encéphalogramme (EEG), il n'apparaît qu'un courant très faible. Durant les trois premiers mois, aucune différence de tracé entre la veille et le sommeil, que le bébé ouvre ou ferme les yeux. Le cerveau n'est pas encore sensible aux perturbations extérieures. Ce n'est qu'après trois mois que les stimulations du monde extérieur donnent un tracé différent. Le cerveau commence à intégrer des informations. Mais ce n'est que vers neuf mois que l'on peut enregistrer une différence nette entre veille et sommeil. C'est l'âge auquel le cerveau devient un véritable aspirateur. Il absorbe des milliers d'informations, pour que nous puissions commencer à parler, marcher, intérioriser les règles sociales, etc. À partir de ce moment, nous assistons à une explosion de la formation de nouvelles connexions dans le cerveau. C'est la synaptogenèse. À son point culminant, entre un et trois ans, ce processus va engendrer plus d'un million de synapses par seconde. Or nous sommes indubitablement de plus en plus intelligents entre un et trois ans. Alors, beaucoup de synapses signifie-t-il beaucoup d'intelligence ? Pas nécessairement.

Des études récentes ont montré, chez l'enfant, une diminution du nombre des synapses à partir de l'âge de cinq ans jusqu'à la puberté. Au début, en raison d'un excès de synapses, le cerveau sélectionnerait les plus pertinentes selon les tâches à accomplir. Par exemple, quand un enfant apprend à jouer d'un instrument de musique, certaines synapses sont stimulées et sont conservées, tandis que les synapses inutiles sont éliminées, car elles gaspillent de l'énergie et ne remplissent aucune fonction. Si nous comparons le cerveau d'un adulte à celui d'un enfant de cinq ans, la consommation d'énergie dans le cerveau de l'adulte est deux fois moins élevée.

La matière blanche : vitesse de traitement

Si l'intelligence d'une personne ne se déduit pas du nombre de ses neurones et synapses, il faut alors chercher du côté des autres structures cérébrales impliquées dans la communication. Or sous la matière grise du cortex, se trouve une autre substance : la matière blanche. Elle est constituée par les longues tiges des neurones, les axones, qui relient les neurones entre eux. Elle est blanche parce que les axones sont ceints d'une gaine blanche protectrice : la myéline.

Cette gaine de matière grasse protège et isole les cellules nerveuses, un peu comme une gaine de plastique autour d'un fil électrique. Mais la myéline augmente aussi la transmission de l'influx nerveux. Dans les fibres sans myéline, la vitesse des signaux est de l'ordre de 1,5 m/s, alors qu'elle peut atteindre 100 m/s (360 km/h) le long des axones myélinisés. Ainsi, grâce à la gaine de myéline, il se produit moins d'interférences entre des signaux circulant dans différents neurones. Leur transmission est plus rapide et le risque d'erreurs est réduit. Si nous reprenons l'analogie de nos deux villes, la myéline est l'entrepreneur qui effectue les travaux d'entretien de l'autoroute, définit l'élargissement nécessaire des voies et régule le trafic.

Voici donc les différents éléments qui organisent la circulation de l'information dans le cerveau en fonction de plusieurs paramètres : le nombre de neurones, le nombre de dendrites, le nombre de synapses et la vitesse de propagation des signaux qui dépend de la myéline. Selon certains scientifiques, comme Richard Haier, l'intelligence requiert un traitement de l'information puissant et rapide. La matière grise assurerait la puissance de traitement, et la matière blanche la vitesse.

Myéline et intelligence

Vous vous souvenez sans doute de Francis Galton et de son hypothèse postulant que la différence d'intelligence serait due à une différence de rapidité dans le traitement des informations par le cerveau. Si la méthodologie et l'idéologie de Galton sont très contestables, des expériences plus récentes semblent pourtant lui donner en partie raison. Les cerveaux les plus intelligents bénéficieraient d'une vitesse de traitement supérieure, assimileraient les informations plus rapidement, les emmagasineraient plus vite dans leur mémoire à court terme et y accéderaient plus facilement et plus rapidement. Ces observations ont poussé les chercheurs à mesurer la vitesse de transmission de l'influx nerveux. L'une des méthodes pour le faire consiste à mesurer le temps que met la stimulation électrique d'un nerf périphérique pour atteindre le muscle qu'il dessert. C'est une mesure généralement réalisée au niveau du bras, en prenant soin de bien contrôler la température qui peut affecter la vitesse. Suite à ces expériences, une relation a été effectivement observée entre les scores aux tests d'intelligence et la vitesse de conduction nerveuse, mais aucune preuve convaincante n'a été établie à ce jour. D'autant plus que le rôle de la myéline n'est pas uniquement d'accélérer l'influx nerveux, il est bien plus subtil. La myéline coordonne l'échange d'informations. Dans certains axones, l'information doit aller très vite, dans d'autres elle doit aller plus lentement voire très lentement.

Empruntons une autre métaphore au domaine du transport, mais aérien cette fois. Vous décidez de vous octroyer un repos bien mérité dans une île paradisiaque. Votre choix s'arrête sur la Polynésie. Vous en rêviez depuis longtemps. Pour limiter le coût du billet, vous optez pour un trajet nécessitant trois correspondances. Mais vous êtes un peu inquiet, le moindre retard de l'un des avions peut mettre en péril vos vacances. Notre cerveau fonctionne un peu sur le même principe qu'un hub aérien. Si un avion représente une action ou une pensée que notre cerveau veut accomplir, les passagers sont les différentes informations nécessaires à son accomplissement. Pour que l'avion puisse décoller, il faut que tous les passagers soient à bord. La difficulté réside dans le fait que ces passagers viennent tous d'endroits différents, d'autres aires du cerveau. Et ils ont été transportés par d'autres avions. Il est donc nécessaire d'avoir une organisation plus que rigoureuse pour que chacun arrive à l'heure, ni avant, ni après. Et c'est la myéline qui prend en charge cette organisation.

Il existe encore d'autres indices montrant un lien entre myéline et intelligence. La myélinisation des fibres nerveuses, très incomplète à la naissance, atteint son pic de développement le plus intense au cours des six premiers mois. La myéline n'existe alors que dans quelques régions cérébrales. Elle apparaît d'abord à l'arrière du cortex cérébral et se propage lentement vers l'avant. La myélinisation n'est totalement achevée qu'à l'âge de vingt-cinq voire trente ans. Les interneurones des lobes frontaux sont les dernières cellules à être myélinisées. Ces lobes sont les régions qui gèrent le raisonnement, la planification et le jugement. Certains scientifiques pensent que ces aptitudes, pour être pleinement efficaces, nécessitent de l'expérience, un vécu plus important. La myélinisation tardive laisserait le temps aux axones de pousser et de se ramifier en réaction aux expériences vécues. Ce serait une des raisons pour lesquelles les adolescents sont plus impulsifs et ne possèdent pas les mêmes capacités de prise de décision que les adultes.

Cette myélinisation, qui s'achève tardivement, alors que la plupart des synapses sont formées, est à mettre en parallèle avec le développement de l'intelligence. Chez le jeune enfant, celle-ci se développe à mesure que les neurones s'entourent de myéline. Puis, elle augmente jusqu'à l'adolescence. Les tests psychologiques montrent effectivement que l'intelligence se développe jusque vers vingt ans. Ensuite, elle se stabilise et ne commence à décliner que vers soixante-dix ans, à mesure que la gaine protectrice de myéline se dégrade. Il semblerait donc, même si ce sont les neurones de la matière grise qui intègrent et exécutent les activités mentales et physiques, que la matière blanche s'avère tout aussi importante pour maîtriser certaines capacités.

L'évolution en parallèle de la myélinisation et de nos facultés cognitives est un des autres aspects de la plasticité cérébrale à l'origine de nos capacités d'apprentissage et d'adaptation. Un aspect au moins aussi important que le renforcement des liaisons synaptiques. C'est ce que pense le professeur Richard Douglas Fields, neuroscientifique, directeur du laboratoire Développement et plasticité du système nerveux, à l'Institut national de la santé (NIH) de Bethesda, dans le Maryland.

> Une des choses les plus intéressantes avec la myéline, c'est qu'elle se forme après notre naissance. Quand un enfant naît, son cerveau est très peu myélinisé. Il ne peut quasiment rien faire, il ne peut pas se nourrir, il ne voit pas vraiment, il ne

> peut pas marcher, il ne peut même pas maintenir sa tête droite. C'est l'évolution qui a fait que nous naissons avec un cerveau immature, conçu pour se développer et se câbler en fonction des expériences fournies par notre environnement. C'est la raison pour laquelle le développement de notre cerveau dure plus de vingt ans[5].

Fredrik Ullén, neuroscientifique à l'Institut du cerveau de Stockholm en Suède, au Karolinska Institutet, a étudié la plasticité de la matière blanche. Le professeur Ullén a la particularité d'être non seulement un brillant scientifique, mais également un pianiste virtuose qui donne des récitals dans le monde entier. Dans son étude, il a donc décidé de se pencher tout naturellement sur ses confrères musiciens. En utilisant une technique d'imagerie cérébrale, IRMf, il a examiné les cerveaux de pianistes professionnels. Il a découvert que certaines zones de la matière blanche sont davantage développées que chez les non-musiciens. Ces zones connectent des régions du cortex nécessaires pour la coordination des doigts à d'autres aires activées par la pratique d'un instrument de musique. Et plus un musicien a pratiqué son instrument, plus ses axones seraient myélinisés. Ces résultats montrent que la matière blanche est plastique et que sa quantité augmente quand on acquiert de nouvelles compétences. Plus nous sollicitons certaines aires, plus les communications entre ces réseaux sont importantes. Et pour assurer une meilleure communication, il faut une meilleure autoroute, capable de gérer un trafic plus important. Ce que nous confirme Douglas Fields :

> Si vous élevez un groupe de souris dans une cage avec de nombreux jeux, elles auront à leur disposition un environnement riche en activités et en interactions sociales. Si, après quelques mois, vous comparez leurs cerveaux avec celui d'une souris qui a grandi isolée, dans une cage sans jeux à sa disposition, vous remarquerez un certain nombre de différences. Le cerveau des souris élevées dans un environnement riche est plus gros. Leur cortex est plus épais. Elles auront plus de synapses et de dendrites, mais le nombre de neurones sera sensiblement identique à celui du cerveau de la souris qui a grandi seule. Par contre, on trouvera une grande différence pour un autre type de cellules. Elles auront

> beaucoup plus d'oligodendrocytes. Et ce sont elles qui fabriquent la myéline. C'est très intéressant, car cela nous montre comment à travers la régulation de la production de myéline, notre environnement a une influence directe sur le câblage de notre cerveau. Cela prouve que la myéline joue un rôle extrêmement important dans la plasticité cérébrale, donc dans l'apprentissage et donc dans l'intelligence. Si l'on compare les environnements, plus ou moins stimulants, dans lesquels les enfants de différentes catégories sociales sont élevés, on comprendra mieux, à cause du rôle de la myéline, d'où viennent certains retards cognitifs[6].

Ce point de vue est confirmé par une étude du neuroscientifique Vincent Schmithorst, de l'hôpital pour enfants de Cincinnati aux États-Unis. Il a comparé la matière blanche d'enfants âgés de cinq à dix-huit ans grâce à un IRM de diffusion. Il a constaté que plus la matière blanche était développée, plus les enfants obtenaient un quotient intellectuel élevé.

Pendant des décennies, les scientifiques se sont désintéressés de la myéline, la considérant comme une substance passive. Mais ces dernières années, les indices s'accumulent pour démontrer que la myéline est, au même titre que les neurones, l'une des clés de notre intelligence.

Stimuler la myéline pour stimuler l'intelligence ?

Pendant longtemps, nous avons cru que notre stock de neurones à la naissance n'augmentait pas. Mais au début des années 1990, Elizabeth Gould, de l'université Princeton aux États-Unis, a montré que de nouvelles cellules naissaient dans quelques aires du cerveau adulte, une zone reliée au bulbe olfactif et dans une région nommée hippocampe, un des centres de la mémoire et du repérage dans l'espace, impliqué dans l'apprentissage. À la différence des neurones, les oligodendrocytes, les cellules responsables de la myélinisation, sont produits
dans l'ensemble de notre cerveau, tout au long de notre vie, à partir de cellules souches baptisées progéniteurs d'oligodendrocytes (PO). Nous pourrions donc agir sur la production de myéline et donc potentiellement sur notre intelligence.

Stimuler le cerveau

Les oligodendrocytes sont des cellules minuscules mais qui ont un très grand nombre de branches qui viennent s'enrouler autour des axones pour fabriquer de la myéline. Par le biais de ces branches, les oligodendrocytes enregistrent l'activité du neurone, puis, en fonction de cette activité, ils fabriquent de la myéline. Ils enveloppent jusqu'à 50 axones simultanément avec plusieurs couches (entre 10 et 150) de cette matière grasse. Plus nous sollicitons notre cerveau dans différentes activités intellectuelles, physiques, musicales, etc., plus nous fabriquons de myéline dans les circuits correspondants. Et plus nous commençons jeunes, plus ce sera efficace. Toutefois, certaines expériences laissent penser que la myélinisation pourrait se poursuivre jusqu'à cinquante ans environ, mais de manière plus subtile.

L'appui des médicaments

L'une des maladies les plus connues mettant en jeu une détérioration de la gaine de myéline est la sclérose en plaques (SEP). Ses symptômes sont : des pertes d'équilibre, une mauvaise coordination, une faiblesse musculaire, des problèmes de mémoire et de concentration. Dans cette pathologie auto-immune, le système immunitaire se retourne contre l'organisme (il s'attaque à lui-même) et détruit la gaine de myéline. Malheureusement, dans le contexte d'une sclérose en plaques, le processus naturel de réparation de la gaine, la remyélinisation par les oligodendrocytes n'est pas très efficace. Une étude publiée en avril 2015 dans *Nature* par une équipe de la Case Western Reserve School of Medicine à Cleveland, a identifié deux médicaments, le miconazole (un antifongique qui lutte contre les infections de la peau) et le clobetasol (un corticostéroïde pour traiter l'eczéma), qui détenaient le pouvoir de stimuler la genèse d'oligodendrocytes à partir des cellules progénitrices, les PO. Si ces résultats se confirment, un certain nombre d'atteintes à la myéline pourraient être corrigées. Et peut-être pourra-t-on même un jour remédier à certains retards cognitifs dus à des environnements pauvres et peu stimulants.

Une alimentation appropriée

Le cerveau est l'organe le plus important de notre corps et c'est aussi un véritable dictateur. Il capte en priorité les nutriments nécessaires à son fonctionnement, quitte à léser d'autres organes si cela est nécessaire. Le cerveau est aussi l'organe le plus gras du corps humain. Les acides gras, les briques élémentaires des lipides, constituent toutes les membranes des cellules biologiques, y compris celles des neurones, et contribuent aussi à la structure de la myéline. Les acides gras polyinsaturés oméga 3 et oméga 6 sont indispensables au fonctionnement du cerveau, mais malheureusement notre organisme ne les produit pas. Le lait maternel contient tous les acides

gras nécessaires à la synthèse de la myéline par l'enfant, mais arrivé à un certain âge il nous faut les chercher ailleurs. Pour entretenir votre myéline, vous devrez recourir aux fruits de mer et aux poissons gras, sans oublier les huiles de lin, de colza ou de noix. Et surtout n'oubliez pas de manger salé, mais du sel iodé. L'iode est un oligo-élément indispensable à notre organisme pour la fabrication des hormones thyroïdiennes. Ces hormones sont essentielles au développement de toutes les cellules du corps humain, notamment dans le système nerveux central. Elles contribuent en particulier à la formation de la myéline. Alors, ajoutez une pointe de sel, mais pas dans l'eau des pâtes, car l'iode s'évapore. Et si vous n'aimez pas le sel, nourrissez-vous de poisson !

La glie, un nouveau continent

Lorsque Santiago Ramón y Cajal découvre les neurones à la fin du XIXe siècle, il formule la théorie neuronale qui, depuis, a dominé les neurosciences pendant plus d'un siècle. D'après cette théorie, les neurones sont les unités fonctionnelles et structurales de base du système nerveux, et tous les échanges d'informations se font à travers eux. Pourtant les scientifiques avaient découvert, à peu près en même temps que les neurones, d'autres cellules dans le cerveau. Et cela d'autant plus facilement que ces cellules sont environ dix fois plus nombreuses que les neurones. Il s'agit des cellules gliales. C'est ce rapport de un à dix entre neurones et cellules gliales qui, par déformations successives, donna naissance au mythe : « nous n'utilisons que 10 % de notre cerveau ».

Pendant longtemps, ces cellules ont été considérées comme de simples soutiens des neurones. Elles assuraient l'équilibre du système nerveux central en régulant la pression sanguine, la nutrition et l'oxygénation des neurones, en éliminant les cellules mortes et en luttant contre les pathogènes. Et aussi, en fabriquant la myéline, car les oligodendrocytes font partie des cellules gliales. Hormis ces derniers, il existe trois autres types de cellules gliales : les cellules de Schwann, la microglie et les astrocytes.

Les cellules gliales d'Albert Einstein

C'est un des plus grands génies du XXe siècle, Albert Einstein, qui éveilla la curiosité des scientifiques sur le rôle des cellules gliales dans

l'intelligence. Mais il le fit de manière tout à fait inattendue.

Le 18 avril 1955, le docteur Thomas Stoltz Harvey, médecin pathologiste à l'hôpital de Princeton, dans le New Jersey, pose à côté de lui la scie chirurgicale dont il vient de se servir. Il regarde l'heure : 8 heures du matin. Un peu anxieux, il reprend son souffle, et avec d'infinies précautions, il extrait de la boîte crânienne qu'il vient de découper, un cerveau. Il tient entre ses mains le cerveau d'Albert Einstein qui vient de décéder à 76 ans. À la demande de la famille, il vient de pratiquer une autopsie, diagnostiquant comme cause du décès une rupture d'anévrisme de l'aorte abdominale. Mais contrevenant aux dernières volontés d'Einstein, il décide, sans aucune autorisation, de prélever son cerveau. Einstein voulait être incinéré et que ses cendres soient dispersées dans un endroit secret afin que personne ne puisse idolâtrer ses ossements et lui vouer le moindre culte. Mais Harvey est curieux. Il est fasciné par Albert Einstein, et il estime qu'il est de son devoir, envers la science et l'humanité tout entière, de percer le secret de l'intelligence de celui que nous considérons comme l'incarnation du génie. Sans être un spécialiste du sujet, il participe d'une longue tradition médicale existant depuis le milieu du XIXe siècle qui tente de percer les secrets des cerveaux célèbres en les disséquant.

Il contemple le cerveau et se demande comment ces quelques grammes de matière molle, tellement semblable à tous les autres cerveaux, ont pu donner naissance à l'une des plus extraordinaires théories scientifiques du XXe siècle. Il commence par rincer le cerveau avec une solution saline pour le débarrasser du sang coagulé qui s'y était attaché. Puis il le photographie sous tous les angles, le mesure et le pèse. 1 230 g contre 1 350 g en moyenne chez un homme. Le cerveau d'Einstein est petit, ce qui excite encore plus la curiosité de Thomas Harvey. Il place le précieux organe dans un des bocaux qui se trouve dans la salle d'autopsie et le noie dans une solution de formaldéhyde à 10 %. Puis il parcourt la cinquantaine de kilomètres qui le sépare de l'université de Pennsylvanie à Philadelphie. Là, dans un des laboratoires, il découpe le cerveau en 240 morceaux, qu'il dissèque ensuite en tranches. Plus de mille. Un travail qui nécessita trois mois complets. Mais Harvey ne publie rien. Puis en 1960, il s'évapore. Il voyage à travers les États-Unis, du New-Jersey au Kansas, puis au Missouri avant de revenir dans le New Jersey, toujours accompagné du cerveau qu'il garde dans une caisse de cidre cachée sous un frigo.

Ce n'est qu'en 1982 qu'il accepte de partager son précieux trésor. Il envoie quelques centimètres cubes du cerveau à Marian Diamond, neuroanatomiste à l'université de Berkeley en Californie. La seule différence notable que Diamond constate, c'est que le lobule pariétal inférieur gauche (impliqué dans les tâches de raisonnement mathématique et la vision dans l'espace) contient plus de cellules gliales que la moyenne. À la suite de Marian Diamond, pas moins de dix-huit chercheurs vont avoir l'honneur de recevoir un échantillon du précieux cerveau. Certaines études n'aboutissent à rien, mais d'eux d'entre elles rapportent également un taux plus élevé de cellules gliales. Kigar, en 1997, trouve un nombre élevé de cellules gliales dans les cortex temporaux ; et Colombo, en 2006, de plus larges astrocytes.

La communication sans fil

C'est à partir de ce moment-là qu'on a commencé à s'intéresser sérieusement au rôle joué par les cellules gliales dans l'intelligence. Et plus particulièrement à certaines d'entre elles, les astrocytes. En effet, parallèlement aux études menées sur le cerveau d'Albert Einstein, une nouvelle technique d'imagerie médicale, l'imagerie calcique (*calcium imaging* en anglais) a révolutionné les connaissances sur le cerveau dans les années 1990. Pendant plus d'un siècle, la doctrine neuronale voulait que l'information ne circulât dans le cerveau que sous la forme d'un influx nerveux, lequel est un phénomène électrique. Ainsi, seuls les neurones communiquaient. Mais avec l'apparition de cette nouvelle technique d'imagerie, les chercheurs ont découvert que les cellules gliales et plus particulièrement les astrocytes communiquaient entre eux. Cette communication s'effectue par le biais d'ondes calciques, c'est-à-dire par des variations de concentrations d'ions calcium dans les cellules, et entre les cellules. C'est un peu comme si les neurones communiquaient avec des téléphones filaires, et les astrocytes avec des téléphones sans fil.

Les astrocytes, les plus grosses cellules du système nerveux, enveloppent chacun plusieurs dizaines ou centaines de neurones. Ainsi, chaque astrocyte est connecté à deux millions de synapses. Ils enregistrent l'activité des neurones, puis libèrent certains neurotransmetteurs qui viennent influencer l'activité des neurones en modifiant l'influx nerveux et même en intervenant sur la formation de synapses. Les astrocytes sont donc passés du statut de simples « ouvriers »

du système nerveux, à celui de régulateur, comme nous l'explique Douglas Fields :

> Les astrocytes servent à beaucoup de choses : ils contrôlent les synapses, ils contrôlent le flux sanguin dans le cerveau, ils nourrissent les neurones, ils réagissent aux blessures. Toutes ces choses étaient considérées comme des « tâches ménagères » dans le cerveau ; beaucoup de scientifiques leur accordaient peu d'importance, jusqu'à ce qu'on réalise que ces « tâches ménagères » impliquent que les astrocytes contrôlent les neurones[7].

Les études sur les cellules gliales sont à la pointe des recherches en neurobiologie. Avec elles, nous explorons un nouveau continent : un réseau de centaines de milliards de cellules qui interagissent, de manière encore mystérieuse, avec le réseau déjà incroyablement complexe formé par nos quelques cent milliards de neurones. Ces découvertes récentes révolutionnent la manière dont les neuroscientifiques expliquent le fonctionnement du cerveau au niveau cellulaire. Peut-être permettront-elles de percer les secrets de l'intelligence.

Les astrocytes : cellules de l'intelligence ?

Connaissez-vous Rochester ? Cette petite ville de deux cent mille habitants, nichée sur les rives du lac Ontario, est célèbre pour avoir hébergé le siège d'un des fleurons du capitalisme américain : Kodak. Les dirigeants du géant de la photographie, qui s'est effondré dans les années 2000, ont dû longtemps méditer la phrase du cinéaste Claude Chabrol : « La bêtise est infiniment plus fascinante que l'intelligence, infiniment plus profonde. L'intelligence a des limites, la bêtise n'en a pas ! »

En 1945, le physicien et inventeur Chester Carlson propose à Kodak le brevet qu'il avait déposé en 1942, celui de l'électrophotographie. « C'est compliqué, ça ne marchera jamais », lui rétorque-t-on. Trois ans plus tard, il revend le brevet à une autre entreprise de Rochester, la Haloid Company, qui deviendra Xerox, à l'origine des premiers photocopieurs. En

1975, l'histoire se répète. Kodak invente, dans ses propres laboratoires, la photographie numérique. Trois ans plus tard, la firme, en avance sur son temps, dépose le premier brevet pour un appareil numérique. Mais de manière incompréhensible, les dirigeants de l'entreprise Kodak n'exploitent pas le brevet et abandonnent l'idée ! En 2012, Kodak se trouve au bord de la faillite, et pour survivre, doit vendre ses brevets.

Heureusement, Rochester abrite aussi des chercheurs libres de suivre leur intuition jusqu'au bout. À l'université de la ville, une équipe étudie l'impact des cellules gliales, et plus particulièrement celui des astrocytes, sur la cognition. Dans le laboratoire des neurobiologistes Steven Goldman et Maiken Nedergaard, les chercheurs ont fait deux constats. Tout d'abord, si la morphologie des neurones de tous les mammifères est relativement semblable, celle de leurs astrocytes s'avère très différente. Si nous comparons un astrocyte humain avec un astrocyte de souris, le premier compte beaucoup plus d'extensions cellulaires que le second. Il s'agit de « branches » qui lui permettent d'envelopper un nombre bien plus élevé de synapses. Ensuite, à quelques exceptions près, les neurones ne se divisent plus après la naissance, leur nombre reste relativement stable. En revanche, les cellules gliales, dont les astrocytes, continuent de se diviser tout au long de notre vie et sont donc régulièrement remplacées.

Pour savoir si les astrocytes humains, si nombreux dans le cerveau d'Albert Einstein, abritent des propriétés spécifiques, Maiken Nedergaard a décidé de les implanter dans le cerveau de souris ! Abdellatif Benraiss est l'un des chercheurs qui a participé à l'expérience au sein de l'université de Rochester :

> Nous avons greffé des cellules gliales humaines dans le cerveau de souris génétiquement modifiées afin qu'elles ne rejettent pas la greffe. La greffe a été réalisée à leur naissance. Et peu à peu, les cellules humaines ont colonisé le cerveau des souris. Nous observons un phénomène de compétition entre les cellules. Lorsqu'une cellule gliale, un astrocyte de souris, meurt, il sera plus rapidement remplacé par une cellule humaine parce qu'elle a plus de facilité à se diviser et à proliférer. Au bout de douze mois, les cellules humaines ont littéralement englobé toutes les structures du cerveau des souris[8] !

De prime abord, les souris au cerveau colonisé par des cellules humaines ne se comportaient pas autrement que leurs congénères. Mais lorsque les chercheurs leur ont fait passer des tests pour évaluer leurs capacités cognitives, les résultats se révélèrent édifiants. À chaque test, les souris humanisées se sont avérées largement plus performantes. Lors d'une expérience d'une durée de quatre jours, les chercheurs généraient par intermittence un courant électrique sur le plancher de leur cage. L'intensité, quoique très faible, occasionnait un sentiment désagréable et poussait les souris à s'enfuir dans une autre partie de la cage. Quelques secondes avant d'électrifier le plancher, les scientifiques déclenchaient un son, toujours le même. Au bout d'une journée, les souris « modifiées » étaient deux fois plus nombreuses à réagir au son, sur un mode pavlovien, et à gagner la zone sécurisée, leur évitant ainsi de ressentir le courant électrique. Au bout de quatre jours, elles étaient quatre fois plus nombreuses que les souris normales… Dans un autre test, les rongeurs devaient trouver la sortie d'un labyrinthe en mémorisant des repères visuels. Là encore, les souris « humanisées » faisaient 25 % d'erreurs en moins.

« Il y a une variabilité entre les souris, mais toutes les souris greffées montrent de meilleures aptitudes dans leurs capacités d'apprentissage et de mémorisation. En moyenne, leurs capacités sont supérieures, d'environ 20 à 30 % à celles des souris non greffées[9] », précise Abdellatif Benraiss. Ces expériences ne laissent guère de place au doute. Les astrocytes humains sont plus évolués que ceux d'autres espèces, ce qui expliquerait en partie les performances de notre intelligence.

Faut-il augmenter l'intelligence des animaux ?

Les résultats de cette expérience ont été publiés dans le *Journal of Neuroscience* en 2014. Depuis, le débat fait rage sur un certain nombre de considérations éthiques, au premier rang desquelles : peut-on augmenter l'intelligence des autres espèces ? Et si oui, lesquelles et dans quelles proportions ?

Dans le film *La Planète des singes : les origines* (*Rise of the Planet of the Apes* en anglais), un scientifique tente de développer un traitement contre la maladie d'Alzheimer. Il inocule un rétrovirus à des chimpanzés qui voient rapidement leurs facultés cognitives augmenter. Ce scénario de science-fiction ne semble plus si éloigné de la réalité, lorsqu'on sait que l'équipe de Rochester cherche à développer des molécules pour traiter les maladies neuro-dégénératives.

D'ailleurs, dans l'article du *Journal of Neuroscience*, le professeur Steven Goldman, l'un des responsables de l'expérience, prend la peine de préciser que « l'équipe a décidé de ne pas essayer de greffer les cellules humaines sur des singes. Nous l'avons brièvement envisagé, mais avons décidé de ne pas le faire à cause de toutes les questions éthiques potentielles[10] ».
Ces questions rappellent aussi que, sans même greffer nos cellules, beaucoup d'animaux sont doués d'une forme d'intelligence. De nombreuses recherches l'attestent,
chez bien des espèces, des corbeaux aux primates. Il ne semble donc pas nécessaire de les équiper de nos cellules gliales pour les rendre plus intelligents : la sélection naturelle et l'évolution darwinienne ont déjà permis aux plus « adaptés », et donc aux plus intelligents dans leur genre, de survivre et s'épanouir…

La nouvelle frontière

Le 15 juillet 1960, au Los Angeles Memorial Coliseum, John Fitzgerald Kennedy accepte l'investiture du parti démocrate comme candidat à l'élection présidentielle. À cette occasion, il prononce un discours dont une expression est restée célèbre, celle de « nouvelle frontière » :

> Nous sommes devant une nouvelle frontière, que nous le voulions ou non. Au-delà de cette frontière, s'étendent les domaines inexplorés de la science et de l'espace, des problèmes non résolus de paix et de guerre, des poches d'ignorance et de préjugés non encore réduites, et les questions laissées sans réponse de la pauvreté et des surplus.

Dans ce discours progressiste, qui dresse le programme et la philosophie du futur Président, la recherche scientifique et tout particulièrement la conquête spatiale sont citées en premier. Ce n'est pas un hasard, les progrès des sciences et des techniques étaient considérés comme les moteurs de la dynamique économique, les garants de l'optimisme de toute une génération qui plaçait en eux leurs espoirs de jours meilleurs.

Plus de cinquante années plus tard, un autre Président faisait allusion dans l'un de ses discours à tous les bénéfices que les États-Unis avaient

retirés du progrès scientifique.

> Les idées sont la puissance de notre économie. […] Les investissements ne sont pas toujours rentables, mais quand ils le sont, ils changent nos vies d'une manière imprévisible. Les puces électroniques, le GPS, Internet. […] Le projet Apollo a permis à l'homme d'aller sur la Lune, mais il nous a aussi donné le scanner. Et chaque dollar investi dans le séquençage du génome humain en a rapporté cent quarante à notre économie.

Ce discours a été prononcé le 2 avril 2013 par le président Barack Obama pour présenter un nouveau programme de recherches, l'initiative BRAIN (*Brain Research through Advancing Innovative Neurotechnologies*). Ce programme, qui vise à dévoiler le fonctionnement du cerveau humain, bénéficie d'un budget de 250 millions de dollars. Dans le même temps, de l'autre côté de l'Atlantique, la Commission européenne décidait de financer le *Human Brain Project* (HBP) à hauteur de plus d'un milliard d'euros. L'ambition du HBP est de réunir toutes les connaissances scientifiques disponibles sur le cerveau humain, afin de le reconstituer dans une simulation informatique. En testant différentes hypothèses, la simulation permettra d'augmenter encore nos connaissances. Ces deux projets sont d'abord motivés par la recherche thérapeutique, puisque les maladies neuro-dégénératives restent l'un des grands enjeux de santé publique de ce siècle. Mais un courant de pensée, parfois proche du transhumanisme, espère tirer de ces recherches des moyens d'augmenter nos capacités intellectuelles. Après la *Space Race* de la fin du XXe siècle entre Russes et Américains pour la conquête spatiale, nous assistons aujourd'hui à la *Brain Race* entre Européens et Américains. La compréhension du cerveau se révèle donc désormais comme la nouvelle frontière.

De nombreux spécialistes pensent que l'alliance entre les neurosciences et l'informatique va produire des progrès exponentiels dans la compréhension du cerveau, et qu'à l'horizon 2050 nous en aurons une connaissance parfaite. De ce point de vue, le modèle neurophysiologique de l'intelligence est séduisant, car il laisse penser que l'intelligence est un phénomène biologique, complexe certes, mais que nous pourrons tôt ou tard décrypter grâce aux investissements colossaux qui sont actuellement

consentis. D'un point de vue strictement biologique, les études récentes ont montré des corrélations très fortes entre les différences individuelles d'intelligence, et la capacité de nos axones à se myéliniser, le nombre d'astrocytes dont nous disposons, l'épaisseur de notre cortex, et bien d'autres éléments encore qui constituent l'architecture de base du cerveau. Au vu de ces progrès, certains se prennent à rêver d'un dispositif qui permettrait à terme de déterminer notre d'intelligence, à partir d'une investigation détaillée de notre cerveau à l'échelle cellulaire. Un appareil de type IRM remplacerait les tests de QI…

Inné ou acquis : l'éternel débat

L'architecture et les spécificités de notre cerveau nous ont été transmises en partie par l'hérédité : celle de l'espèce au cours de son évolution darwinienne, commune à tous les hommes, mais aussi celle de nos ascendants directs, source de différences interindividuelles. Faut-il voir dans ces différences l'origine de nos inégalités en terme d'intelligence ? Surgit ici le vieux débat entre les partisans d'une origine principalement génétique, ou au contraire plutôt environnementale de nos capacités intellectuelles. Un débat qui, comme nous l'avons vu, peut se révéler particulièrement houleux. Aujourd'hui, il est admis qu'aucun de ces deux facteurs n'explique à lui seul l'intelligence, mais la contribution plus ou moins importante de l'un et l'autre est l'objet de vives discussions.

Personne n'a découvert un gène de l'intelligence, et pour cause, tant au niveau biologique que comportemental, un phénomène aussi complexe ne peut être dû qu'à l'interaction de nombreuses composantes. Personne ne pourra nier non plus que l'éducation, l'alimentation, les conditions de vie et l'environnement social, faciliteront ou entraveront le développement de certaines aptitudes intellectuelles. Personne, enfin, ne pourra contester que la génétique contribue à l'intelligence. À quoi ne contribue-t-elle pas ? Affirmer le contraire reviendrait à dire que l'intelligence n'a rien à voir avec le cerveau. Comment savoir, dès lors, quelle part revient aux gènes ? La question intéresse de nombreux neuroscientifiques et généticiens mais le mystère n'est pas encore résolu.

La génétique s'appuie sur un principe simple : plus des individus sont proches en terme de parenté, plus ils possèdent des gènes identiques

hérités d'un ancêtre commun. Deux frères détiennent donc plus de gènes identiques que deux cousins, qui sont eux même plus proches que deux individus lambda. Dans le cas d'un caractère aisément mesurable, comme la taille, nous sommes habitués à des corrélations logiques, comme la taille de deux frères, plus proche que celle de deux cousins – ou de deux voisins.

Mais cette corrélation ne dit rien sur l'origine génétique, car avec la proximité génétique, coexiste le plus souvent une autre proximité, celle de l'environnement. Deux frères élevés ensemble partagent un environnement plus proche que celui de deux cousins qui ne se voient que pendant les vacances.

Le cas des vrais jumeaux

Pour contourner cette difficulté, les généticiens utilisent depuis les années 1920 la méthode dite des jumeaux. Les jumeaux monozygotes, ou vrais jumeaux, ont ceci de particulier qu'ils partagent exactement les mêmes gènes : ce sont des copies conformes sur le plan génétique.

Imaginez que deux vrais jumeaux soient séparés peu après la naissance et qu'ils soient adoptés par des parents différents. Ils ont les mêmes gènes, mais grandissent dans des environnements différents. Si les gènes ne jouent aucun rôle dans l'intelligence, les résultats de leurs tests d'intelligence sont supposés être bien différents, en tout cas aussi éloignés qu'entre deux personnes sans lien de parenté. Au contraire, si les gènes jouent un rôle important, les scores de jumeaux doivent être très proches, même s'ils ont été élevés dans des environnements différents.

Depuis vingt ans, une étude est menée au Social, Genetic and Developmental Psychiatry Centre du King's College de Londres pour déterminer la contribution relative des gènes et de l'environnement dans les différentes facultés cognitives. Le programme *Twins Early Development Study* (TEDS) est dirigé par le professeur Robert Plomin, un généticien comportementaliste. Grâce aux registres des naissances, Plomin et son équipe ont identifié 15 000 jumeaux nés entre 1994 et 1996 en Angleterre et au pays de Galles. Toutes ces paires de jumeaux sont suivies depuis leur naissance. Aujourd'hui, vingt ans plus tard, 13 000 de ces jumeaux participent toujours à l'étude. Voici les conclusions auxquelles Robert Plomin est parvenu :

> Toutes les études, y compris la nôtre, qui ont été réalisées sur des jumeaux monozygotes, ceux qu'on appelle des « vrais jumeaux », montrent qu'il existe entre leurs QI respectifs une corrélation beaucoup plus forte qu'entre ceux de simples frères et sœurs, même si ces jumeaux n'ont pas été élevés ensemble. De vrais jumeaux élevés séparément ont des résultats presque aussi proches que des jumeaux élevés ensemble. Leurs scores sont aussi proches que ceux obtenus par une seule et même personne qui passerait deux tests à un an d'intervalle. Nous avons également montré que le QI des jumeaux adoptés élevés séparément ressemble plus au QI de leurs parents biologiques qu'à celui de leurs parents adoptifs[11].

Les gènes jouent donc un rôle dans l'intelligence, mais est-il possible d'évaluer leur importance relative ? Pour ce faire, les généticiens ont comparé l'ADN d'individus qui décrochaient de bons scores aux tests d'intelligence, et de personnes qui, au contraire, obtenaient des résultats nettement inférieurs. Ils ont cherché si certains gènes apparaissaient plus fréquemment dans un groupe (les bons) ou dans l'autre (les moins bons). Pendant longtemps, de telles comparaisons étaient impossibles à réaliser, ou bien à des coûts tels qu'il était inenvisageable de le faire à grande échelle. Le décryptage complet du génome humain aura nécessité treize années de travail (jusqu'en 2003) et un budget de trois milliards de dollars. Aujourd'hui, les généticiens disposent de puces à ADN infiniment plus sophistiquées qui peuvent analyser en quelques heures certains « points chauds » du génome, pour un coût modique (une centaine de dollars).

Génétique et environnement : indissociables et à parts égales

En 2011, l'équipe du psychologue écossais Ian Deary, de l'université d'Édimbourg, a étudié près de 500 000 régions différentes dans l'ADN de 3 511 personnes. L'une des premières surprises fut de constater le nombre important de gènes impliqués dans l'intelligence. Pendant longtemps, les scientifiques crurent que l'intelligence ne découlait que d'une poignée de gènes. C'était donc inexact.

L'étude écossaise a montré sans équivoque que l'intelligence humaine

devait nécessairement impliquer la collaboration de plusieurs centaines, voire plusieurs milliers de gènes. Elle a aussi montré que l'intelligence n'était héritable de ses parents qu'à 50 ou 60 % – renvoyant dos à dos génétique et environnement, ou plutôt leur affectant la même importance dans la maturation intellectuelle d'un individu.

Plutôt que d'intelligence héritable, il convient de parler en réalité d'héritabilité de l'intelligence. Ce concept est crucial pour bien comprendre les généticiens et pour éviter un certain nombre de malentendus. Le concept d'hérédité sonne à l'oreille comme celui d'héritabilité, mais il ne faut surtout pas les confondre. Ce qui est héritable n'est pas forcément héréditaire. Est héréditaire ce qu'une personne peut hériter de ses parents, ses beaux yeux au mieux, ou une terrible maladie au pire. La notion d'héritabilité est très différente. C'est un outil statistique qui évalue à un moment donné, et pour une population entière, la part due à la génétique et celle relevant de l'environnement. Une héritabilité de 50 % pour l'intelligence signifie que 50 % des différences observées entre les individus d'une population donnée sont déterminés par leurs gènes, et 50 % par leur environnement. Donc si l'environnement change, l'héritabilité change également. Mais pour une personne en particulier, il reste impossible de dire dans quelles proportions son intelligence dépend de celle de ses parents.

Une aiguille dans une meule de foin

Les généticiens qui étudient l'intelligence se placent aujourd'hui dans une perspective cognitiviste. Ils décomposent l'intelligence en diverses aptitudes qui correspondent chacune à un réseau de structures cérébrales, dont le fonctionnement et l'organisation sont dus à de nombreux gènes. En effet, il y a peu de chances qu'un gène code spécifiquement nos capacités logiques, et un autre nos compétences verbales. Les gènes doivent vraisemblablement s'associer en une multitude de combinaisons différentes pour déterminer nos capacités, selon des règles qui nous échappent encore totalement. Mais à ce jour, les tentatives pour déterminer précisément quels gènes sont impliqués dans l'intelligence ont été globalement décevantes.

Des milliers de gènes doivent être testés, et chacun d'entre eux

portent des milliers de petites variations qui peuvent influencer l'intelligence. Trouver ces fameux variants génétiques de l'intelligence revient donc à chercher une aiguille dans une meule de foin. L'alphabet de notre code génétique est constitué de quatre bases nucléiques : adénine, thymine, guanine, cytosine (ATGC). L'association de deux de ces bases au sein de la structure en double hélice de l'ADN constitue ce que les généticiens nomment une paire de bases. Notre génome en contient quelque 3,2 milliards. Le long de cette interminable chaîne, seules certaines régions bien spécifiques, dites « codantes », forment les gènes. Un génome humain en compte environ 25 000.

Un gène typique contient à lui seul quelques dizaines de milliers de paires de bases, et compte une variation toutes les 100 à 300 paires de bases en moyenne. Cela donne entre 10 et 30 millions de variations d'un individu à un autre, dont la plupart sont sans effet biologique. C'est la raison pour laquelle la tâche d'isoler les gènes impliqués de près ou de loin dans nos facultés intellectuelles peut s'avérer ardue.

À ce jour, quelques gènes candidats ont été identifiés. Leur découverte a ouvert de nouvelles portes, mais comme souvent en science, elle est aussi venue épaissir encore un peu plus le mystère. Une étude de 2009 menée par les National Institutes of Health (NIH) des États-Unis, et l'Institut neurologique de Montréal, a montré qu'une épaisseur plus importante du cortex dans les zones associatives pouvait être liée à une plus grande intelligence. Cette épaisseur s'expliquerait essentiellement par un nombre plus important de connexions entre les neurones. En février 2014, dans la revue *Molecular Psychiatry*, une équipe de chercheurs du King's College de Londres déclarait avoir découvert le gène qui, précisément, modulerait l'épaisseur du cortex. Un gène connu sous le nom de NPTN. Sur un échantillon de plus de 1 500 adolescents, l'équipe du King's College a analysé 54 000 variations génétiques jouant un rôle potentiel dans le développement du cerveau. En croisant cette analyse avec des scanners IRM du cortex ainsi que les résultats à des tests d'intelligence, ils ont constaté qu'un certain variant de ce gène était corrélé à un cortex moins épais dans l'hémisphère cérébral gauche, notamment dans les lobes frontal et temporal. Or les adolescents porteurs de cette variation obtenaient en moyenne de moins bons résultats aux tests d'intelligence. Cette variation génétique affecte l'expression du gène NPTN, qui influence la communication des neurones en modulant la

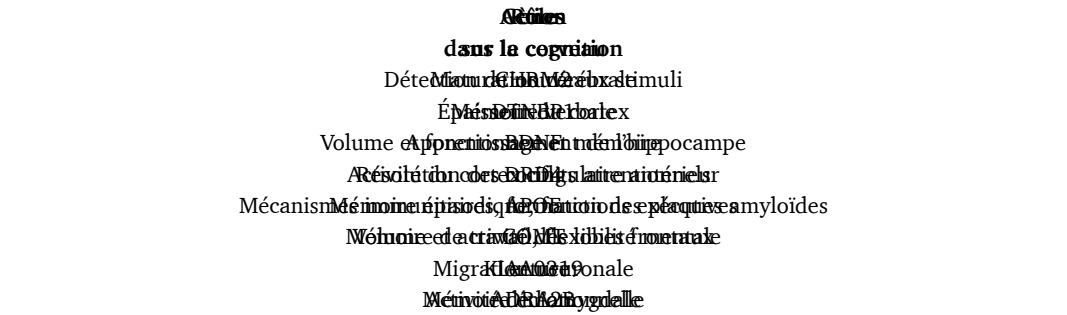
plasticité synaptique. Les chercheurs ont également découvert que, pour une raison encore inconnue, ce gène exerçait une activité plus importante dans l'hémisphère gauche.

Même si elle est extrêmement prometteuse pour comprendre l'intelligence d'un point de vue génétique, cette découverte s'est aussi révélée extrêmement frustrante. Les variations du gène NPTN ne sont responsables que de minuscules variations d'intelligence, à peine 0,5 %. Trop peu pour en faire « un gène de l'intelligence ». En effet, comme nous l'avons déjà souligné, le renforcement des liaisons synaptiques est aussi la conséquence de l'intensité de l'activité à laquelle nous soumettons notre cerveau. Plus nous sollicitons certaines régions, plus nous renforçons les réseaux de neurones, impliquant une modification de la taille des synapses. Certains scientifiques ont même remarqué que, chez les enfants, le QI à la fin de l'été est inférieur à ce qu'il était au début de la saison estivale, lorsque les enfants quittent l'école. Cette diminution des capacités intellectuelles pourrait être le résultat d'un changement d'épaisseur corticale : le cortex étant moins sollicité, certaines synapses verraient leur taille diminuer. Il est donc difficile de faire la part des choses entre gènes et environnement, ils sont indissociables.

D'autres gènes influençant nos capacités cognitives ont été découverts, mais aucun ne joue un rôle plus important, comme nous l'explique Robert Plomin :

> Les effets les gènes les plus importants sont responsables de moins de 1 % des différences d'intelligence entre les individus. La plupart du temps, ces effets se situent aux environs de 0,2 %. Et là, nous ne parlons que des gènes jouant un rôle important. Cela signifie que l'héritabilité est due à un nombre très important de gènes exerçant chacun un très petit effet, et pour l'instant, même en additionnant les effets de tous les gènes que nous avons découverts, nous n'arrivons qu'à expliquer environ 1 % des variations d'intelligence. 1 % sur une héritabilité de 50 %. Il reste donc encore beaucoup de travail à accomplir[12].

Voici une liste non exhaustive de quelques gènes dont le rôle sur l'intelligence est plus ou moins vérifié.



Mais un autre facteur vient compliquer la tâche des généticiens : le même gène peut s'exprimer diversement et produire des effets très différents.

Afin de pouvoir loger notre cortex extrêmement volumineux dans notre boîte crânienne, celui-ci s'est plissé au cours de l'évolution. Cette structure si particulière, composée de stries et de dépressions, appelées *gyrus* et *sulcus*, est en partie contrôlée par un gène qui module la prolifération et la migration des neurones. Ce gène, le TNRP1, n'est pas spécifique à l'homme. Il existe chez tous les mammifères, qui tous pourtant n'arborent pas le même cortex. En avril 2013, Victor Borrell de l'Institut de neurosciences de l'université d'Alicante en Espagne, a montré que, chez la souris, lorsque ce gène produisait beaucoup de protéines, il entraînait la création d'un cortex lisse et homogène. En revanche, lorsqu'il était moins exprimé, il favorisait une structure corticale complexe, plus épaisse et plus plissée.

Ces exemples nous montrent que l'intelligence est polygénique, et que les milliers de gènes impliqués ne sont pas forcément spécifiques à l'homme. Ils peuvent s'exprimer plus ou moins, et de manière très variable dans les différentes parties du cerveau, car ils s'influencent les uns les autres et sont à leur tour influencés par l'environnement. Pour l'instant, nous sommes encore loin d'avoir compris le fonctionnement de ce mécanisme complexe.

Gènes et environnement : une coévolution

À la fin du troisième chapitre, nous avions laissé en suspens deux des quatre objections que Stephen Jay Gould avait adressées aux auteurs de

The Bell Curve qui défendaient la théorie d'une intelligence essentiellement génétique :

- L'intelligence est-elle essentiellement déterminée par les gènes ?
- L'intelligence est-elle immuable ?

Les récentes avancées en génétique montrent que si les gènes jouent un rôle dans l'intelligence, ils ne la déterminent en aucun cas à eux seuls. Aucun gène de l'intelligence n'a été découvert, mais il existe un « réseau » de gènes qui jouent un rôle pour former la structure de notre cerveau et certaines de ses propriétés. Toutefois, la structure fine du cerveau (épaisseur du cortex, nombre et taille des synapses, myélinisation) est déterminée par sa plasticité, laquelle dépend en très grande partie de nos expériences et de nos conditions de vie, donc de notre environnement. Robert Plomin résume très bien le point de vue actuel des généticiens sur l'intelligence :

> Les gens demandent souvent dans quelle mesure l'intelligence est déterminée par les gènes. Le mot « déterminé » n'est pas le bon mot, il faudrait plutôt dire « influencé ». Même la taille, qui est un trait hautement héritable, n'est pas déterminée par les gènes. Si vous êtes très grand, il est probable que vos enfants eux aussi seront grands. Mais s'ils sont mal nourris, ou qu'ils sont malades, ils seront peut-être plus petits que la moyenne. Toutes choses égales par ailleurs, les gènes donnent une tendance, une influence[13].

Mais les choses sont rarement égales par ailleurs. L'environnement évolue par nature ; il est multiple et varié. Les travaux d'Eric Turkheimer, psychologue à l'université de Virginie, illustrent bien la complexité du lien entre les gènes et l'environnement. Dans une étude qu'il a cosignée, parue en 2003 dans la revue *Psychological Science*, il montre que l'effet des gènes dépend du statut socio-économique. Avec ses coauteurs, il a examiné les résultats de 839 paires de jumeaux à un même examen. D'après les résultats, chez les enfants de familles aisées, environ 60 % des différences de QI seraient liées aux gènes. Pour les enfants des familles pauvres, au contraire, les gènes n'auraient quasiment aucune influence. Eric Turkheimer l'explique par les contraintes environnementales. Elles sont si fortes dans les milieux défavorisés (alimentation, accès à des activités d'éveil pour les enfants, qualité des écoles, environnement

familial) qu'elles influent sur le développement de l'intelligence dès le commencement de la vie intra-utérine, puis à l'école et tout au long de l'existence. Ces contraintes empêchent ensuite que les petites différences induites par les gènes se ressentent. En revanche, quand les conditions de vie s'améliorent, les différences liées aux gènes peuvent commencer à s'exprimer, et les différences d'intelligence se faire sentir.

Aujourd'hui, les généticiens penchent plutôt vers une théorie de la coévolution gènes-environnement, lesquels s'influencent réciproquement. Ainsi, pour répondre à la dernière objection de Stephen Jay Gould, l'intelligence n'est pas immuable, puisque tant les mutations génétiques (à l'échelle de l'évolution – cf. notre premier chapitre) que les changements de l'environnement peuvent la modifier, plus ou moins rapidement.

La question qui se pose dès lors est de savoir si notre intelligence évolue encore. Et si oui, dans quelle direction ?

L'intelligence à la carte

La plupart des parents sont prêts à beaucoup de sacrifices pour offrir les meilleures chances à leurs enfants. Les sommes que beaucoup d'entre eux dépensent en frais de scolarité et dans diverses activités en sont la preuve. Avec les progrès de la génétique, certains se sont pris à rêver que la sélection ou l'élimination de certains gènes pourraient être bénéfiques à leurs chérubins. Ce que les Anglo-Saxons désignent sous le terme de « designer babies » est déjà une réalité sur Internet où sont proposés des bébés à la carte dont vous pouvez choisir le sexe ou la couleur des yeux. Et dans un futur proche, pourquoi pas l'intelligence…

Aujourd'hui, c'est en Chine que se déroule le plus vaste programme de recherche génétique sur l'intelligence. Plus précisément dans le delta de la Rivière des Perles, à Shenzen, où l'on trouve l'un des plus grands centres de recherche en génétique du monde, Beijing Genomics Institute. Avec plus de 4 000 chercheurs, utilisant plus d'une centaine de machines de séquençage à l'avant-garde de la technologie, BGI est une véritable usine qui séquence près de 50 000 génomes chaque année. Au sein de BGI, le Cognitive Genomics Lab tente de découvrir les bases génétiques de l'intelligence humaine. Pour l'instant, aucun résultat n'a été publié par ce laboratoire, mais les chercheurs sont convaincus qu'avec suffisamment d'échantillons d'ADN différents, ils parviendront à isoler les multiples gènes de l'intelligence. Le but avoué de BGI est de proposer un test génétique aux couples désirant un enfant. En utilisant la fécondation *in vitro*, ils pourraient maximiser l'intelligence en sélectionnant parmi les embryons celui ou ceux susceptibles de développer la

plus grande intelligence.
La Chine mène depuis plus de trente ans un programme visant à augmenter sa puissance. Un volet de ce programme comprend également la création d'un capital humain de plus grande qualité en terme de santé, d'éducation et de gènes. D'énormes sommes d'argent ont été investies dans l'éducation, afin de créer de nouveaux systèmes scolaires qui mettent l'accent sur des approches plus créatives de l'apprentissage. Le programme BGI suit les mêmes objectifs, en prônant ouvertement un eugénisme positif.
Si ce genre d'idées vous heurte, n'oubliez pas que nous-mêmes, en France, pratiquons l'eugénisme dit « positif ».
Nous testons les fœtus dans le but d'éliminer ceux présentant des anomalies comme la trisomie 21. D'autres enfants « différents », tels que les autistes, ont encore la chance de pouvoir naître, tant qu'aucun test de dépistage n'est disponible. Mais si nous pouvions rendre nos enfants plus intelligents, que ferions-nous ? Bien sûr, nous voulons le meilleur pour eux…

---

1. Yann LeCun, Chaire informatique et sciences numériques, leçon inaugurale du 4 février 2016.

2. *Idem*.

3. Entretien de Francisco Varela avec Frédéric Joignot et Ariel Kyrou pour le magazine *Actuel* (1993).

4. La réponse se trouve en fin d'ouvrage, p. 233.

5. Richard Douglas Fields, entretien réalisé le 6 mai 2015.

6. *Idem*.

7. Douglas Fields, entretien réalisé le 6 mai 2015.

8. Abdellatif Benraiss, entretien réalisé le 4 mai 2015.

9. Entretien réalisé le 4 mai 2015.

10. Steven Goldman, *Journal of Neuroscience*, 18 octobre 2014.

11. Robert Plomin, entretien réalisé le 21 mai 2015.

12. Robert Plomin, entretien réalisé le 21 mai 2015.

13. Robert Plomin, entretien réalisé le 21 mai 2015.

CHAPITRE 6

L'intelligence en déclin ?

Deviendrions-nous de plus en plus stupides ? Ces dernières années, un certain nombre d'études sont venues semer le trouble dans une histoire du progrès qui semblait se dérouler sans accrocs. Modestement ou non, nous sommes convaincus que l'homme est l'espèce la plus intelligente de la planète. Avec le progrès technique comme idéal, beaucoup d'entre nous ont la conviction que notre intelligence augmente de génération en génération. Mais aujourd'hui, les chercheurs remettent en cause cette certitude. Certes, à l'échelle de l'humanité, nos connaissances augmentent. Mais pris individuellement, nous serions, au XXIe siècle, moins intelligents que nos ancêtres.

Un siècle de progression fulgurante

Entre les années 1930 et les années 1990, les pays industrialisés ont connu l'« effet Flynn », du nom du scientifique qui mit en évidence ce phénomène, à savoir l'augmentation constante et régulière du QI.

En 1984, James Flynn, philosophe moral et professeur de sciences politiques à l'université d'Otago en Nouvelle-Zélande, publie l'un des articles les plus retentissants de l'histoire de l'étude de l'intelligence. En décortiquant 73 études effectuées entre 1932 et 1978 aux États-Unis, il en déduit que le QI moyen de la population américaine avait progressé de près de 14 points en quarante-six ans. James Flynn poursuit son enquête dans différents pays industrialisés et trois ans plus tard, il publie une autre étude.

> La seconde étude que j'ai publiée en 1987 a connu un impact encore plus considérable. J'ai examiné une très grande variété de tests de QI, dans plus de trente pays. Pas seulement des tests Wechsler ou Stanford-Binet, mais aussi des matrices progressives de Raven et différents autres tests verbaux et non verbaux. Dans certains pays comme la France, les Pays-Bas ou la Norvège, les jeunes gens qui faisaient leur service militaire passaient systématiquement les mêmes test de QI, permettant une stricte comparaison des résultats d'année en année, contingent après contingent. Aux Pays-Bas par exemple, j'ai pu comparer les résultats des conscrits aux mêmes tests en 1952, 1962, 1972 et 1982 et les progrès en terme de QI étaient impressionnants : de l'ordre de vingt points d'augmentation en trente ans[1].

À la suite des travaux de Flynn, différentes études ont confirmé ces résultats. Dans près de quarante pays, sur les cinq continents, le QI a régulièrement augmenté d'environ trois points tous les dix ans. Néanmoins, si les performances intellectuelles s'amélioraient décennie après décennie, toutes les composantes de l'intelligence ne progressaient pas de la même manière. Les épreuves de déduction logique, par les matrices de Raven, ou les épreuves de similarité qui évaluent la capacité à percevoir des points communs, avaient énormément progressé. En revanche, dans les épreuves de raisonnement verbal ou arithmétique, les nouvelles générations obtenaient des résultats équivalents voire inférieurs à ceux de leurs aînés.

Pour expliquer cette augmentation, plusieurs causes ont été évoquées, prétextes à des débats animés. Vu la courte période durant laquelle ces différences ont été constatées (quelques dizaines d'années), les modifications du génome sont à exclure. C'est plutôt du côté des changements environnementaux qu'il faudrait chercher l'explication. Une meilleure alimentation, une meilleure hygiène, l'accès à de meilleurs soins ont eu des répercussions considérables sur nos caractéristiques physiques, comme la taille par exemple. Pour l'intelligence, c'est surtout l'amélioration de l'éducation qui a contribué à l'augmentation du QI.

L'impact de la scolarité sur l'intelligence a été mis en évidence par de nombreuses études. Notre QI augmenterait de deux à trois points par année d'école supplémentaire. Or, dans les pays industrialisés, la durée de

scolarisation est passée en moyenne de six ans au début du XXe siècle, à onze ans aujourd'hui. Dans le même temps, le pourcentage de la population fréquentant la maternelle, l'enseignement primaire, secondaire et supérieur, n'a cessé de croître, ce qui a clairement entraîné des répercussions bénéfiques sur le développement intellectuel des enfants. Parallèlement, l'élargissement de la classe moyenne et la diminution du nombre d'enfants par famille, a entraîné une modification des pratiques éducatives, les parents disposant de plus de temps et d'argent pour éduquer leurs enfants.

Enfin, nos modes de vie contemporains stimulent notre esprit différemment, en nous confrontant à une plus grande variété de situations et de problèmes. Plus que par le passé, l'apprentissage se prolonge tout au long de la vie. La place croissante des technologies, en particulier celles de l'image, sollicitent bien plus que par le passé notre intelligence visuo-spatiale. Dans notre vie quotidienne, nous devons sans cesse apprendre le fonctionnement de nouveaux appareils, potasser des modes d'emploi pour apprendre à programmer un four ou une machine à laver. Donc, notre intelligence n'aurait pas progressé dans le sens où nous serions plus intelligents, elle a simplement évolué : elle s'est adaptée à un nouvel environnement.

La fin de l'âge d'or

Cependant, depuis les années 1990, différentes études menées en Australie, au Danemark, aux États-Unis et au Royaume-Uni ont constaté la fin de l'effet Flynn. Le QI moyen ne progresse plus dans certains pays industrialisés. En Norvège ou au Danemark, il stagne, voire régresse. Par exemple, en comparant les résultats d'un test de QI donné aux militaires danois en 1998 à ceux d'aujourd'hui, les psychologues ont constaté une baisse de 1,5 point de QI. Nous aurions donc atteint le seuil maximal de notre intelligence. L'accès à une meilleure alimentation, à une médecine plus efficace, à une éducation de qualité, aurait si bien nourri et soigné nos cerveaux que nous aurions exprimé le potentiel maximum de notre intelligence.

Pour preuve, il a été beaucoup question du programme PISA (Programme international pour le suivi des acquis des élèves) ces

dernières années. Il désigne un ensemble d'études menées par l'OCDE visant à mesurer les performances des systèmes éducatifs au niveau international. Cette enquête menée tous les trois ans auprès de dizaines de milliers d'adolescents explore trois domaines : la compréhension de l'écrit, la culture mathématique et la culture scientifique. L'étude menée en 2012 montre une stagnation de ce que nous pourrions appeler l'« intelligence scolaire ». Ces résultats ont été diversement commentés par les politiques et les différents acteurs du système éducatif. Mais certains scientifiques ont pu y lire autre chose. Ce plafonnement du QI serait le signe avant-coureur d'un phénomène en pleine expansion, comme James Flynn nous l'explique :

> L'augmentation du QI est un phénomène qui a duré un siècle. Mais tous les pays vont finir par voir un plafonnement de cette augmentation. L'école a fait le plein. C'est elle qui a offert la capacité de manier des concepts abstraits et à moins d'une révolution de la pédagogie, les bénéfices dus à l'école vont plafonner parce que presque tout le monde est scolarisé aujourd'hui[2].

La science peut se montrer pleine de surprises et d'ironie. C'est en effet le même chercheur qui, à trente ans d'intervalle, a mis en lumière l'accroissement de l'intelligence, puis son déclin, en invoquant dans les deux cas les mêmes causes environnementales. Mais les partisans d'une intelligence essentiellement héréditaire ne sont jamais bien loin, si bien qu'en 2013, une étude a fait couler beaucoup d'encre. Ses auteurs ont avancé que nous étions bien moins intelligents que nos ancêtres pour des raisons génétiques. Et l'outil sur lequel ils fondaient leur étude remonte à Sir Francis Galton : la mesure des temps de réaction. Étrange retour en arrière. Autre ironie de la science.

Jan te Nijenhuis, professeur de psychologie à l'université d'Amsterdam, est l'un des auteurs de l'étude :

> Il y a deux manières de mesurer l'intelligence : les tests de QI classiques, avec lesquels la plupart des gens sont familiers ; et la mesure du temps de réaction. Par exemple, on vous présente des points de couleurs différentes sur un écran, et vous devez réagir aussi vite que possible en appuyant sur un bouton. C'est

> une bonne mesure pour savoir à quelle vitesse votre cerveau traite une information. Et plus vous traitez rapidement les informations, plus vous avez de chances d'afficher un QI élevé. Nous sommes partis d'une étude réalisée en 1884 par Francis Galton sur plusieurs milliers de personnes, représentatives de la population anglaise de l'époque, et nous l'avons comparée à treize autres études qui s'étalent jusqu'à 2004. Les résultats ont montré que les gens étaient devenus de plus en plus lents, le temps de réaction moyen étant passé de 194 millisecondes à 275 millisecondes. La différence à l'air insignifiante, mais quand vous pensez à la quantité d'informations que votre cerveau doit traiter à chaque instant, cela représente beaucoup[3].

Le professeur te Nijenhuis et ses collègues ont converti cette différence de temps de réaction en points de QI, pour aboutir à la conclusion que les Anglais de l'époque victorienne bénéficiaient d'un QI supérieur au nôtre d'environ 14 points. La publication de cet article a provoqué une levée de boucliers dans la communauté scientifique qui dénonçait une trop faible corrélation entre QI et temps de réaction. Ils contestaient aussi la méthodologie statistique pour convertir un temps de réaction en points de QI, ou bien encore la pertinence de comparer des temps de réaction mesurés avec des appareils très différents. Mais les réactions les plus virulentes se sont exprimées à l'encontre de l'explication fournie par les auteurs pour éclairer ces résultats. Selon eux, au cours du XXe siècle, les femmes les plus éduquées et les plus intelligentes faisaient des enfants de plus en plus tard, et en moindre nombre. Les femmes moins intelligentes et moins accaparées par un emploi prenant, faisaient au contraire plus d'enfants. Au fil des décennies, le déséquilibre entre faible nombre d'enfants intelligents et nombre élevé d'enfants moins intelligents aurait entraîné le déclin moyen et statistique du QI.

> Si l'on compare le déclin du temps de réaction avec les courbes de fertilité, on voit que les graphiques suivent des évolutions similaires. Je ne crois pas que ce soit une coïncidence. Par exemple, jusque dans les années 1950, la Finlande était un pays extrêmement rural et si l'on regarde les courbes de fertilité, le nombre moyen d'enfants par femme a diminué

> relativement tard par rapport à d'autres pays occidentaux. Et une étude récente a montré que le QI en Finlande est légèrement supérieur à celui d'autres pays européens[4].

Selon le professeur te Nijenhuis, le déclin de l'intelligence a commencé il y a plus d'un siècle, et l'augmentation du QI entre les années 1930 et 1990 (l'effet Flynn) serait effectivement due à des effets environnementaux suffisamment forts et trompeurs pour masquer le déclin intrinsèque de l'intelligence humaine.

Assistons-nous à l'émergence de l'idiocratie dont nous parlait le professeur Geary dans le premier chapitre, ou à la résurgence de cette peur de la décadence qui fit naître la théorie eugéniste dans l'esprit de Francis Galton ? Avec une étude comme celle du professeur te Nijenhuis, nous voyons bien que l'intelligence reste un sujet extrêmement polémique. Toutefois, les craintes concernant le déclin de notre intelligence sont loin d'être infondées.

Notre cerveau en danger

Un rapport rendu public en mars 2014 aux États-Unis estimait qu'un enfant sur 68 souffrait d'un trouble du spectre autistique (TSA). Cette étude réalisée par les Centres fédéraux de contrôle et de prévention des maladies (CDC, Centers for Disease Control and Prevention) montrait que ces troubles avaient augmenté de 30 % par rapport à 2012. Ce qui rend ces chiffres extrêmement inquiétants, c'est leur progression quasi exponentielle : vingt à trente fois plus de cas diagnostiqués aujourd'hui par rapport aux années 1970, et 40 % des enfants atteints auraient un QI inférieur à 70.

Cette érosion des capacités cognitives due aux troubles autistiques n'est pas le seul symptôme de ce que certains scientifiques appellent une « véritable épidémie ». Nous assistons également depuis de nombreuses années à une augmentation croissante des troubles neurocomportementaux comme l'hyperactivité ou les troubles de l'attention.

Un environnement perturbateur

Pour de nombreux chercheurs, c'est du côté de notre environnement physique et biologique qu'il faut chercher des explications, comme nous l'explique Barbara Demeneix, professeur d'endocrinologie et directrice du département Régulations, développement et diversité moléculaire au Muséum d'histoire naturelle de Paris :

> Où que vous viviez dans le monde aujourd'hui, vous êtes exposé à des centaines de produits chimiques présents dans l'eau, dans la nourriture, dans l'air mais aussi dans de nombreux objets de notre vie quotidienne. Vous avez par exemple les phtalates, comme le bisphénol A que l'on retrouve dans les plastiques, ou bien encore les retardateurs de flamme que l'on retrouve dans tous les matériaux, ordinateurs, tapis, matelas, peintures[5].

Barbara Demeneix a étudié l'effet de certains de ces polluants connus pour être des perturbateurs endocriniens, c'est-à-dire qui viennent déséquilibrer le fonctionnement de notre système hormonal.

Notre corps est un ensemble complexe d'organes qui doivent travailler les uns avec les autres. Pour échanger des informations, ces organes utilisent soit le système nerveux, soit le système hormonal, appelé aussi système endocrinien, du nom des petites glandes endocrines qui fabriquent les hormones. Ces substances chimiques libérées dans notre corps nous permettent de réguler un certain nombre de fonctions. La glande thyroïde, située à la base du cou, sécrète deux hormones, communément appelées T3 et T4. L'une d'elles intervient sur la vitesse de croissance et le métabolisme de toutes les cellules du corps, y compris celles du cerveau.

> De nombreux scientifiques sont inquiets des effets des perturbateurs endocriniens sur les hormones thyroïdiennes. La majorité des pesticides utilisés aujourd'hui déstabilisent la fabrication de ces hormones. Mais aussi beaucoup de produits chimiques très courants, comme le bisphénol A ou les PCB (polychlorobiphényles). Ils ont une structure moléculaire très

> proche de l'iode, et nous avons besoin d'iode justement pour fabriquer les hormones thyroïdiennes. Ces produits chimiques abusent notre organisme, en prenant la place de l'iode. Cela a des répercutions, par exemple, sur la manière dont nous régulons notre métabolisme, et une des conséquences de cette pollution est très certainement l'augmentation des cas d'obésité. Pour ce qui est de l'intelligence, les hormones thyroïdiennes jouent un rôle essentiel dans le développement du cerveau dès le stade fœtal[6].

La croissance des bébés, depuis le stade embryonnaire, et le bon développement de leur cerveau dépendent en partie des hormones thyroïdiennes. Or, avant douze semaines, le fœtus n'a pas encore sa propre thyroïde. Durant cette période, il est donc totalement dépendant des hormones thyroïdiennes de la future mère qui doit en fabriquer davantage. Pour cela, la thyroïde a besoin de plus d'iode. Si les carences, dues à un manque d'iode dans l'alimentation ou à une exposition importante à des produits chimiques qui empêchent sa captation, s'avèrent trop importantes, le nouveau-né sera le plus souvent de faible poids. Si l'hypothyroïdie est sévère et n'a pas été traitée, cela peut être aussi l'origine d'un retard mental. Tout le monde connaît l'expression « crétin des Alpes ». On désignait ainsi certaines personnes souffrant de crétinisme, une pathologie caractérisée par l'arrêt du développement physique et mental de l'enfant. Cette maladie était due à l'utilisation de sel gemme dans certaines régions montagneuses, un type de sel très pauvre en iode, contrairement au sel marin. Grâce à un dépistage systématique, et à l'utilisation de sel de table enrichi en iode, cette maladie a pu être éliminée.

Malheureusement, les perturbateurs endocriniens, sans produire des effets aussi importants que le crétinisme, interfèrent dans le développement du cerveau au stade fœtal et durant les premiers âges de la vie. La myélinisation se révèle l'un des processus de la formation de notre cerveau particulièrement dépendant des hormones thyroïdiennes. Or souvenons-nous qu'elle est essentielle pour assurer une transmission efficace des informations dans le cerveau. Pour Barbara Demeneix, l'étude du professeur te Nijhenhuis sur l'augmentation du temps de réaction, pourrait s'expliquer par l'effet de perturbateurs endocriniens de plus en plus nombreux dans l'environnement de nos sociétés industrialisées. En

empêchant la bonne formation des gaines de myéline, ils joueraient un rôle dans l'érosion de nos capacités cognitives en ralentissant la communication entre les différentes aires cérébrales.

Les effets de la pollution sur l'intelligence ne sont pas suffisamment importants pour nous frapper avec la force de l'évidence, comme dans le cas du crétinisme dont les effets, en terme de malformation, étaient très visibles. Pourtant, les preuves sont là depuis de nombreuses années. Dans les années 1980, deux études, une écossaise et une australienne, montraient, par exemple, que les enfants exposés à une pollution par le plomb, soit à cause des canalisations au plomb (Édimbourg), soit à cause de la proximité d'une usine (Australie), présentaient des scores de QI jusqu'à quatre points inférieurs à ceux d'un groupe test. Le plomb est en effet un neurotoxique qui agit principalement sur l'hippocampe, le cortex préfrontal et le système limbique, des zones en charge de la mémoire, l'apprentissage, le raisonnement, la prise de décision et les émotions. Ces études, et de nombreuses autres, ont permis d'estimer qu'en cas de plombémie (taux de plomb dans le sang) de dix microgrammes par litre de sang, le QI diminuait de un point. Grâce aux politiques visant à remplacer les canalisations au plomb, à interdire les peintures et les soudures au plomb (dans les boîtes de conserve notamment), mais surtout à diminuer le taux de plomb dans l'essence, la plombémie moyenne a largement diminué.

Il faudrait aujourd'hui la même prise de conscience chez les dirigeants politiques à propos des autres polluants présents dans notre alimentation, dans nos objets et même dans l'air que nous respirons.

Une étude de mars 2015, publiée par le Centre de recherche sur l'épidémiologie environnementale de Barcelone (CREAL, *Center for Research in Environmental Epidemiology*), a suivi pendant un an près de 3 000 enfants de sept à dix ans dans 39 écoles. Les résultats montraient que les enfants scolarisés dans des zones dont la qualité de l'air était médiocre obtenaient de moins bons résultats en terme de mémorisation (mémoire à court terme), d'attention et d'apprentissage que les autres.

Pour Barbara Demeneix, comme pour de nombreux autres scientifiques, il est urgent d'agir, car nous mettons en danger non seulement l'intelligence des générations futures, mais aussi la nôtre.

Pour un nombre important de produits chimiques, on a

> démontré que plus l'exposition des femmes enceintes était élevée, plus la diminution du QI était importante. Jusqu'à cinq ou six points de QI. Mais cela implique aussi des conséquences chez les adultes. Le sujet a été moins étudié que l'impact sur le fœtus et les jeunes enfants, mais quelques études ont montré, par exemple, qu'un manque d'hormones thyroïdiennes chez les adultes avait des effets sur l'anxiété, la mémoire et la concentration[7].

Les conséquences de la baisse du QI

Que signifierait une baisse de quelques points de QI ? Au niveau individuel, sans doute peu de choses : la différence entre un jour où nous sommes en forme intellectuellement, et un autre où nous sommes plus apathiques. Mais au niveau d'un pays tout entier, les conséquences peuvent être considérables. Le professeur David Bellinger, spécialiste des problèmes de santé et d'environnement à l'université de Harvard, a calculé que les différentes pollutions aux États-Unis pourraient entraîner la perte globale de 40 millions de points de QI chez l'ensemble des enfants américains de moins de six ans ! D'après des modèles développés par les spécialistes en santé publique, un point de QI en moins aux États-Unis reviendrait à gagner 19 000 dollars de moins à l'échelle d'une vie. Ces chiffres, s'ils ne sont sans doute pas pertinents à l'échelle individuelle, tentent d'estimer la perte économique liée à une érosion de l'intelligence.

> Si vous avez une perte de quelques points de QI à cause de la pollution au plomb, qui se cumule avec une perte due au manque d'iode, une autre due aux pesticides organophosphorés, puis aux PCB, et aux retardateurs de flamme, etc., nous assisterons à l'échelle d'un pays à une diminution du nombre de personnes très intelligentes, et parallèlement à une augmentation du nombre de personnes présentant un important retard mental et qui devront être prises en charge dans des institutions spécialisées[8].

Il a ainsi été estimé que la diminution de l'intelligence liée à l'exposition au plomb représenterait, en terme de productivité

économique, une perte annuelle de 700 milliards de dollars pour l'Asie, 142 milliards pour l'Amérique latine, 135 milliards pour l'Afrique.

Ce genre de calcul reste discutable, mais il montre que l'intelligence, sous toutes ses formes, est autant un enjeu de bien-être et de réussite individuelle, qu'un enjeu économique et de santé publique. Il est donc nécessaire, voire urgent, de cultiver et d'entretenir cette qualité.

Protéger l'intelligence

Le XXIe siècle sera le siècle du cerveau. Jamais autant d'études n'auront été menées sur le sujet, et jamais autant d'argent n'aura été investi pour en mener d'autres. Si notre intelligence est menacée, à cause de nos modes de vies, de la pollution ou tout simplement par le déclin cognitif dû à l'âge, alors le rôle de la science n'est peut-être pas de dire si nous sommes plus ou moins intelligents que nos voisins, ou que nos ancêtres, mais de nous aider à comprendre comment notre cerveau fonctionne. Nous pourrons alors utiliser tout le potentiel de cet extraordinaire organe, dont les scientifiques commencent à s'apercevoir que le déclin n'est pas inéluctable.

Nos capacités s'altèrent avec l'âge, ce qui n'est guère étonnant, nul ne pouvant contrer les outrages du temps. Comme le corps, le cerveau devient moins souple, moins réactif et moins rapide. Le déclin commence relativement jeune, bien que faiblement au début, par une cure d'amaigrissement du cerveau. John S. Allen, de l'université de Californie du Sud, et Hannah Damasio, de l'université d'Iowa, ont comparé, dans une étude parue en 2005, des images de cerveau, obtenues par IRM, de 87 adultes âgés de 22 à 88 ans. Ils ont constaté que la matière grise de notre cerveau diminuait de volume en perdant environ 10 % de neurones et de connexions entre 30 et 70 ans. Ensuite, cette perte s'accélère encore. En revanche, la matière blanche continue d'augmenter jusqu'à 50 ans environ, avant de se stabiliser et de régresser. Ainsi, à 70 ans, la quantité de myéline dans notre cerveau est inférieure de 6 % à celle que nous avions à 30 ans. Ce qui se traduit par un ralentissement de la vitesse de transmission de l'influx nerveux.

Mais ce vieillissement ne touche pas notre cerveau de manière homogène. Les parties les premières concernées sont l'hippocampe,

certaines zones du cortex préfrontal et le cervelet. De la même manière, nos différentes aptitudes intellectuelles ne s'altèrent pas à la même vitesse. Une étude menée aux États-Unis, auprès de 129 étudiants de 19 ans ayant passé le test Alpha de l'armée américaine en 1919, et ayant accepté de repasser le même test trente ans puis quarante ans plus tard, a montré que si les capacités verbales restaient stables en vieillissant, en revanche le raisonnement abstrait déclinait, en particulier lorsque les épreuves étaient passées en un temps limité. Ce sont l'attention, la concentration et la flexibilité mentale (la capacité à changer de stratégie pour résoudre un problème) qui régressent en premier de manière importante. Puis c'est au tour de la mémoire, en particulier la capacité à enregistrer de nouvelles informations. Les compétences verbales (fluidité de l'expression) résistent mieux, et ne commencent à décliner que vers 70 ans. Ce qui est très intéressant également, c'est que nous ne vieillissons pas tous à la même vitesse. Dans une étude parue au printemps 2012, menée conjointement par l'Inserm et par l'University College de Londres, plus de 7 000 fonctionnaires britanniques âgés de 45 à 70 ans ont dû passer une série de tests de raisonnement, de mémoire et de fluidité verbale, à trois reprises en l'espace de dix années. Il s'est avéré que le déclin cognitif commençait dès 45 ans, alors qu'auparavant les scientifiques pensaient qu'il était minime, voire inexistant avant 60 ans. Mais les chercheurs se sont également aperçus que certains participants résistaient beaucoup mieux que d'autres.

29 % des hommes entre 45 et 49 ans ne déclinaient pas, contre 17 % pour la tranche comprise entre 65 et 70 ans. Ces chiffres étant respectivement de 33 et 22 % chez les femmes. Ces différences s'expliquent autant par les gènes que par l'histoire des individus, c'est-à-dire leur niveau de scolarité, leur mode de vie (alimentation, activité physique), leur activité professionnelle et leurs activités sociales. Si nous n'avons aucune prise sur nos gènes, nous pouvons malgré tout agir pour entretenir nos capacités intellectuelles pour retarder et minimiser les effets de l'âge. Peut-on aller jusqu'à augmenter son intelligence ? Il n'existe aujourd'hui aucune méthode reconnue et certifiée permettant d'atteindre ce but, mais en prenant soin de nous, de notre cerveau et de notre corps dans son ensemble, il est possible d'optimiser nos qualités pour apprendre à se servir au mieux de l'intelligence que nous possédons déjà.

Les neurones, dévoreurs d'énergie

Notre cerveau consomme des quantités d'énergie colossales, dix fois plus que les autres organes. Alors qu'il ne représente que 2 % de notre masse corporelle, il accapare à lui seul 20 % de l'énergie alimentaire consommée et 20 % de l'oxygène inspiré. Ce chiffre atteint même 60 % chez les jeunes enfants et 80 % chez les nourrissons. Cela s'explique, d'une part, du fait que notre cerveau est continuellement en train de travailler, même pendant que nous dormons ; d'autre part, parce que les neurones sont des cellules particulièrement énergivores. Pour bien s'en rendre compte, il faut savoir que les cellules de notre cortex consomment environ 40 micromoles d'ATP (le carburant des cellules) par gramme de cellules et par minute. Les cellules des muscles de nos jambes n'en consomment que 30 lors d'un marathon ! Pour optimiser cette énorme consommation d'énergie, l'évolution a naturellement abouti à l'organisation, au « câblage » le plus économe entre les dizaines de milliards de cellules nerveuses. Ashish Raj et Yu-hsien Chen, de l'université Cornell aux États-Unis, ont simulé sur ordinateur des milliers de configurations différentes pour connecter les neurones. Aucune n'était plus efficace, en termes énergétiques, que celle mise en place par la nature. Et cette efficacité est étroitement liée à l'intelligence.

En 1988, Richard Haier, lors d'une des premières études sur l'intelligence utilisant l'imagerie cérébrale, avait mesuré le métabolisme cérébral de sujets passant un test d'intelligence. Il avait montré que le cerveau des personnes qualifiées d'intelligentes consommait moins d'énergie. Il avait alors proposé l'hypothèse de l'« efficacité neuronale », selon laquelle les personnes intelligentes n'utilisent que les neurones strictement indispensables à la résolution d'un problème et de manière efficace d'un point de vue énergétique. Une étude plus récente réalisée par Martijn van den Heuvel, spécialiste du métabolisme cérébral à l'université d'Utrecht aux Pays-Bas, a confirmé cette hypothèse. Dans cette étude, le cerveau d'une vingtaine de volontaires a été comparé par imagerie cérébrale, après évaluation de leur QI. Le professeur van den Heuvel a observé que le cerveau des sujets affichant les scores de QI les plus élevés possédait des connexions nerveuses plus courtes entre certaines zones du cerveau. Là encore, l'efficacité de la transmission des informations est liée aux performances intellectuelles.

Pour autant, imaginer qu'on puisse améliorer notre intelligence en

augmentant cette « efficacité » semble très compliqué. D'une part, parce que nous n'avons jamais réussi à imaginer un « câblage » du cerveau plus efficace que celui que la nature a réalisé ; d'autre part, parce que nos neurones sont tellement gourmands en énergie que vouloir, par exemple, multiplier par cent les échanges d'informations dans le cortex, impliquerait que celui-ci consomme autant d'énergie que le corps tout entier. Difficile de l'envisager, cependant, pour optimiser le potentiel de notre cerveau, il est nécessaire de lui fournir le carburant nécessaire.

Un régime intelligent

Si l'impact de l'alimentation sur notre santé physique est aujourd'hui bien connu, les effets sur nos capacités cognitives ne sont étudiés que depuis quelques années. Pourtant, le cerveau n'échappe pas à la règle : pour se maintenir, il a besoin des nutriments puisés dans notre alimentation.

Nous avons déjà vu que pour nous permettre de fabriquer de la myéline, mais aussi plus généralement pour l'entretien de notre cerveau, la consommation de certains acides gras (oméga 3 et oméga 6) était vivement recommandée. Malheureusement, depuis quelques décennies, nous consommons trop d'oméga 6 et pas assez d'oméga 3. Les oméga 3 jouent aussi un rôle dans la neurogenèse, la fabrication de nouveaux neurones, et permettent de réduire l'apparition de certains troubles cognitifs affectant la mémoire. Il est nécessaire d'absorber chaque jour 300 mg d'acides gras oméga 3, qui se nichent essentiellement dans les poissons gras (maquereaux, sardines, truites, saumons, harengs) ainsi que dans les œufs et dans certains végétaux (soja, noix, colza). Mais d'autres nutriments sont spécifiquement nécessaires au fonctionnement des cellules cérébrales.

Le cerveau est un organe qui ne s'arrête jamais. Le carburant de base est fourni par le glucose, que nos cellules consomment au rythme de 100 mg par minute. Il faut assurer un approvisionnement constant en glucose au cerveau, sinon c'est le fameux coup de pompe. Il est donc nécessaire de consommer à chaque repas des aliments riches en sucres lents (féculents, pain, céréales). Techniquement, pour réussir à brûler un carburant, il faut un comburant, en l'occurrence l'oxygène. Il est

transporté dans notre organisme via les globules rouges, mais pour s'acquitter de cette tâche, les cellules de notre sang ont besoin de fer. Différentes études ont montré qu'une carence en fer pouvait entraîner une diminution de nos capacités intellectuelles, en particulier l'attention et les capacités d'apprentissage. Il est donc essentiel d'assurer les apports nécessaires en fer en consommant régulièrement de la viande rouge, ou si vous êtes végétarien des légumes secs comme les lentilles, les haricots rouges, mais aussi l'avoine, le sésame, etc. Il faut cependant savoir que le fer présent dans les végétaux est moins bien assimilé par l'organisme, environ 3 % contre 25 % pour la viande.

Pour fonctionner correctement, les cellules du cerveau ont besoin d'un certain nombre d'ouvriers qui s'acquittent de différentes tâches. Il s'agit de molécules ou d'éléments physiques qui jouent tous leur partition : certains transportent l'information d'un neurone à l'autre (les neuromédiateurs) ; d'autres les « captent » à leur surface (les récepteurs) ; d'autres encore accomplissent des actions de maintien du système (certains enzymes). Ces divers éléments n'ont en général qu'une durée de vie de quelques jours, si bien qu'il faut en renouveler le stock régulièrement. Pour ce faire, nous avons besoin des acides aminés qui se trouvent uniquement dans les protéines alimentaires. Le poisson, la viande, les œufs, les produits laitiers sont de bonnes sources de protéines, car ils contiennent en nombre des acides aminés essentiels et sont facilement assimilables par l'organisme.

Si vous êtes végétarien, sachez qu'un acide aminé reste le même qu'il soit d'origine animale ou végétale. Toutefois, les aliments qui sont pauvres en un ou plusieurs acides aminés essentiels (méthionine, lysine, etc.) contiennent des protéines incomplètes, leur valeur biologique est donc plus faible et certains rôles dédiés aux protéines ne pourront pas être accomplis. Par exemple, les haricots tendent à être pauvres en méthionine, et les produits céréaliers comme le pain et le riz renferment peu de lysine.

Mais en les combinant, il est possible d'équilibrer les acides aminés. Il ne faut donc pas voir la valeur biologique de chaque aliment séparément, mais la qualité globale des protéines en prenant en compte tous les aliments d'un repas. Cette stratégie est notamment utile avec les protéines végétales. Par exemple, les protéines du pain ou du riz deviennent complètes s'il y a adjonction d'une source de lysine (présente

en grand nombre dans les haricots coco), et les protéines des haricots deviennent complètes quand on leur associe une source de méthionine (comme le riz).

Les protéines, pour fonctionner correctement, ont à leur tour besoin de minéraux et de vitamines, en particulier les vitamines des groupes B et C. Des carences en vitamines B1, B3, B5, B6, B8, B9 et B12 sont associées à différents troubles cognitifs, psychiatriques ou neurologiques, voire des malformations, telle que la spina bifida qui frappe un fœtus sur deux mille. Il s'agit d'une malformation congénitale liée à une carence en vitamine B9 (acide folique) que les soignants prescrivent très souvent en complément alimentaire aux femmes enceintes. Cette malformation provoque un défaut de fermeture du tube neural, la moelle épinière est alors mal insérée dans la colonne vertébrale, et parfois le cerveau ne l'est que partiellement dans le crâne. Les vitamines du groupe B se concentrent dans des aliments comme les noix, le jambon, le poisson, le jaune d'œuf, le foie de veau ou de volaille, le cresson, les lentilles, le lait, les huîtres. Il faut s'assurer d'une consommation régulière de ces vitamines, car l'organisme ne les stocke pas. Les excès sont éliminés.

Parmi les oligoéléments nécessaires au bon fonctionnement de notre cerveau, nous avons déjà cité l'iode, qui participe à la synthèse des hormones thyroïdiennes et se révèle indispensable au développement et à l'entretien du cerveau. Mais le magnésium, le cuivre, le calcium, le sélénium et le zinc s'avèrent également très importants. Enfin, de nombreuses études ont montré que la consommation de fruits et de légumes riches en polyphénols, un antioxydant présent uniquement dans les végétaux, protégeait efficacement le cerveau du stress oxydatif (raisin noir) et améliorerait la circulation sanguine du cerveau (grenades). De plus, ces molécules pourraient également stimuler la neuroplasticité dans le cortex et l'hippocampe (curcuma), et amélioreraient la mémoire et l'apprentissage (myrtilles).

Si certains aliments – issus de la filière biologique, pour limiter la pollution due aux perturbateurs endocriniens présents dans les pesticides – sont indispensables au fonctionnement optimal de notre cerveau, et donc de notre intelligence, d'autres en revanche sont particulièrement néfastes. Parmi ces « poisons lents », on trouve les acides gras trans, le sucre et certains additifs alimentaires. Les acides gras trans sont déjà interdits au Canada, en Autriche et au Danemark, et le seront

aux États-Unis en 2018. Responsables de pathologies cardiaques et de risques accrus de dépression, ils altèrent aussi notre mémoire en perturbant la communication entre les neurones. Ces acides gras peuvent notamment être présents dans les huiles de friture.

Le sucre peut induire les mêmes effets néfastes. Dans une étude publiée en 2014, une équipe de l'université de Californie du Sud a nourri des rats adolescents avec des quantités de sucres équivalentes à celles trouvées dans les jus de fruits, sodas et limonades. Après un mois de ce régime, leurs capacités d'apprentissage et de mémorisation ont été affectées de manière irrémédiable. De plus, le sucre, en faisant augmenter brutalement le taux de glycémie dans le sang, provoque la libération immédiate d'insuline qui fait chuter brutalement ce taux. Même sans être diabétique, ce processus peut altérer nos états émotionnels en provoquant fatigue, irritabilité, sautes d'humeur, jusqu'à des risques accrus de dépression.

L'alimentation industrielle est également riche en additifs divers et variés. Outre les colorants, particulièrement présents dans les boissons et les sucreries pour les enfants, les additifs se trouvent dans un nombre incalculable d'aliments : surgelés, plats préparés, conserves, farines, sauces. Toute la nourriture industrielle comporte des additifs.

Conservateurs, émulsifiants, exhausteurs de goûts et autres colorants sont légion, mais le poids des lobbys et des études sponsorisées brouille les pistes et retarde toute prise de décision. Par exemple, l'exhausteur de goût E621, présent dans quantité de plats cuisinés, sauces et biscuits, est considéré comme sans danger par la législation, alors que sa neurotoxicité est connue depuis près d'un demi-siècle. Certains colorants qui se nichent principalement dans les friandises pour enfants (E102, E104, E110, E122, E124, E122) sont suspectés de favoriser l'hyperactivité. Une expérience est révélatrice à cet égard.

En 2014, une étude est réalisée à l'école primaire Nana Glen, une petite école publique dans un village australien, en Nouvelle-Galles du Sud. La direction de l'école, avec la participation des parents d'élèves et d'une spécialiste en nutrition et troubles du comportement, supprime les additifs alimentaires des repas des enfants pendant deux semaines. Elle remplace cette nourriture par des repas bio. Les conséquences sont surprenantes : les élèves sont plus concentrés, moins agressifs, et renouent des liens avec leurs camarades. Résultats : moins de punitions et de retenues, et une amélioration des apprentissages.

Une expérience similaire a été menée aux États-Unis de 1997 à 2002, au lycée Appleton où sont accueillis des élèves connus pour des problèmes de discipline. Les distributeurs de sodas sont supprimés et remplacés par de l'eau servie à volonté. L'alimentation se voit également modifiée. Les plats sont réalisés sur place, principalement à base de céréales complètes, de fruits et de légumes frais, sans friture, sans colorants ni conservateurs, ni ajouts chimiques. Là encore, le comportement des élèves s'est nettement amélioré. L'équipe pédagogique a observé une franche diminution de l'agitation, et une amélioration de la concentration en classe, si bien que les adolescents ont obtenu de bien meilleurs résultats. D'autres expériences analogues ont été menées en Suède et au Danemark, avec des résultats identiques en termes de comportement et de résultats scolaires. Les effets d'une alimentation de qualité, bio, variée et équilibrée s'avèrent indéniables sur notre cerveau, ses capacités et son équilibre, nous permettant ainsi d'en exprimer tout le potentiel.

Booster l'intelligence ?

Utiliser au mieux nos compétences intellectuelles est une chose, mais peut-on les augmenter ? Dans nos sociétés où la pyramide des âges entraîne inéluctablement l'augmentation de l'âge moyen de la population, le recul de l'âge de départ à la retraite, et l'exigence de rester « performant » le plus longtemps possible, il est inévitable que le marché des compléments alimentaires dédiés aux facultés cognitives se développe. En France, ce secteur industriel représente déjà un chiffre d'affaires annuel d'environ un milliard d'euros. Si les différentes études scientifiques confirment que le déclin cognitif commence à apparaître chez une part non négligeable de la population dès 45 ans, il est difficile d'imaginer les industriels de ce secteur abandonner un marché de niche si prometteur. Il suffit d'observer le taux de pénétration de ce type de produits aux États-Unis (de l'ordre de 65 % pour les adultes, au lieu de 16 % en France), pour percevoir tout le potentiel de ce marché. Il convient toutefois de se montrer prudent. Pour lutter contre le déclin cognitif ou stimuler de manière temporaire nos capacités intellectuelles, il existe un certain nombre de produits, mais rares sont ceux dont l'efficacité a été prouvée.

Le thé et le café font partie des plus connus, et peut-être aussi des plus efficaces, grâce à la caféine qu'ils contiennent. Cet alcaloïde, extrait des graines de caféier, est chimiquement identique à la théine du thé ou à la caféine (parfois appelée guaranine) de la plante guarana.

Sous ces différents noms, cette molécule agit comme un stimulant du système nerveux central et du système cardio-vasculaire, et permet d'accroître la vigilance et l'attention. Il semblerait toutefois plus intéressant, afin d'utiliser au mieux ses propriétés, d'en ingérer de petites doses plusieurs fois par jour, plutôt qu'une dose importante en une seule fois. Boire du thé vert, moins concentré en caféine, tout au long de la journée, serait plus efficace qu'une grande tasse de café bien fort. D'autant plus que le thé contiendrait un autre élément bénéfique pour la concentration : la L-théanine. Cet acide aminé, responsable du goût des thés verts, serait susceptible d'augmenter la quantité de l'un des plus importants neurotransmetteurs de notre cerveau : le GABA (acide gamma-aminobutyrique), qui réduit le stress et favorise la détente, un état propice à la concentration.

D'autres plantes ou composés chimiques sont vendus comme des produits capables d'accroître, tout du moins momentanément, nos capacités intellectuelles. Cependant, aucune preuve scientifique n'est venue étayer ces allégations pour l'instant. Parmi ces produits, nous pouvons citer, entre autres, la créatine, le cognassier du Japon, la choline, le déanol, le ginkgo biloba, le sirop de bouleau, le ginseng, l'orpin rose ou encore la sauge d'Espagne. En revanche, du côté des médicaments, deux produits semblent avoir fait leurs preuves pour augmenter la puissance de travail intellectuel. Ils sont largement utilisés par les étudiants, les chercheurs ou les cadres en quête de performance, ou encore pour assumer une surcharge ponctuelle de travail. Il s'agit de la Ritaline, un médicament prescrit aux enfants souffrant de troubles de l'attention, et du Modafinil, une molécule conçue durant la première guerre du Golfe pour permettre aux soldats de demeurer éveillés plusieurs jours tout en restant vifs
et alertes. Mais attention, ces médicaments détournés de leur usage premier pour augmenter nos capacités, comme certains sels d'amphétamines, peuvent occasionner de graves effets secondaires sur le long terme, en causant par exemple des dépressions nerveuses.

Enfin, une dernière technique, venue non pas de la chimie, mais de l'électronique, semble prometteuse pour doper notre intelligence. Il s'agit de la stimulation magnétique transcrânienne. En générant des micro-impulsions magnétiques ou électriques à la surface du crâne, le rythme et la répartition des signaux électriques échangés entre les neurones s'en trouvent modifiés. Cela permettrait d'accroître certaines de nos capacités. La méthode est, nous disent les spécialistes, indolore et sans danger.

Stimuler l'esprit

Même si le corps et le cerveau sont parfaitement alimentés, le dynamisme intellectuel ne se maintient pas de lui-même. C'est l'activité

qui stimule l'esprit. Lorsque l'influx entre plusieurs neurones est important, des connexions se forment, les synapses se renforcent. Lorsqu'il n'existe plus assez d'influx nerveux dans le circuit, les synapses régressent et disparaissent. Et lorsqu'un neurone perd plus de 50 % de ses connexions, il s'engage dans un processus de mort cellulaire. « *Use it or lose it* », résument les Anglo-Saxons (« Utilisez-le ou perdez-le »). Pour assurer la survie de nos neurones, un seul moyen : maintenir ou créer de nouvelles synapses, voire de nouveaux neurones. C'est possible à tout âge, mais pour cela il faut être actif. Des études ont montré qu'une personne de 60 ans qui reste active professionnellement retarde d'environ un an et demi son déclin cognitif, par rapport à une personne du même âge qui aurait cessé toute activité professionnelle depuis un à quatre ans.

Les vertus du sport…

Au-delà du travail ou de l'entraînement cérébral, il faut faire du sport. Depuis les dix dernières années, les études s'accumulent sur les bienfaits du sport sur le cerveau. En 2006, Stanley Colcombe, de l'université de l'Illinois, aux États-Unis, a soumis un groupe de 59 volontaires âgés de 60 à 79 ans à un programme sportif. Une partie des volontaires a pratiqué du cardio-training, une autre du stretching, tandis que 20 jeunes adultes servirent de groupe témoin. Au bout de six mois, les participants du groupe cardio-training ont vu leur volume cérébral augmenter significativement, contrairement aux deux autres groupes. Grâce à la pratique régulière d'une activité physique, la microcirculation cérébrale est améliorée, permettant une meilleure nutrition et une meilleure oxygénation du cerveau. Mais il semblerait également que, lors d'un effort, les muscles libèrent dans le sang une molécule, l'irisine, laquelle une fois parvenue au cerveau, stimule la BDNF (*brain-derived neurotrophic factor*) qui favorise la création de neurones et de synapses. De plus, des études récentes ont montré que chez les seniors les plus actifs, la matière blanche se dégradait également beaucoup moins rapidement.

… couplées à une activité renouvelée

Mais ces nouveaux neurones, créés au niveau de l'hippocampe, s'ils ne

sont pas utilisés immédiatement par une activité intellectuelle stimulante, meurent au bout de quelques semaines. Une étude de 2002, publiée par Gerd Kempermann de l'université Humboldt de Berlin, a montré que des souris adultes exposées pendant dix à vingt mois à un milieu riche en stimulations, produisaient cinq fois plus de nouveaux neurones au niveau de l'hippocampe, que les souris vivant dans un milieu appauvri. Et la meilleure stimulation est celle qui découle d'une activité nouvelle. Tout ce qui est inhabituel oblige le cerveau à se reconfigurer. Rien de tel pour renforcer notre encéphale que de bousculer ses habitudes en apprenant de nouvelles choses, un sport, un jeu, une activité créatrice, une langue étrangère, la cuisine ou le bricolage. Peu importe votre choix, tant que le plaisir est là, que vous sollicitez différentes compétences et que vous êtes actif. Les activités passives, aussi intéressantes et distrayantes soient-elles, sont moins stimulantes car elles engagent moins de compétences. Écrire, par exemple, est une activité complexe qui stimule de nombreux centres cérébraux en sollicitant la mémoire, l'attention, la réflexion. De la même manière, jouer d'un instrument est plus stimulant que d'écouter de la musique – ce qui n'est pas une raison pour se priver du plaisir de lire un bon livre ou de découvrir de nouvelles musiques !

Relations aux autres et relation à soi

Parmi toutes les activités auxquelles nous pouvons nous livrer, celles qui impliquent des relations sociales sont particulièrement importantes. Nous avons vu, au début de cet ouvrage, comment l'intelligence humaine s'était développée autour des compétences sociales qui nous ont permis de faire collaborer des groupes importants d'individus. Il n'est pas étonnant, dès lors, que les études de psycho-neuro-immunologie montrent que l'absence de relations sociales impacte négativement le cerveau, le système immunitaire et même l'ADN. L'interaction sociale sollicite de très nombreuses zones du cerveau pour reconnaître des visages, décoder et interpréter des signes subtils, gérer des situations de conflit, de rejet ou d'affinités. De plus, les relations sociales engagent au maximum nos émotions, dont nous avons déjà souligné le rôle essentiel, qu'elles soient positives ou négatives.

Il est toutefois une activité solitaire dont le rôle sur la cognition est de plus en plus étudié : la méditation. Cette pratique peut se diviser en deux types de techniques. Une première dans laquelle il faut se concentrer sur

un objet unique ; une seconde, la méditation « vigilante », dans laquelle, au contraire, il ne faut se concentrer sur rien et tenter de vider son esprit. Si les effets de la méditation sur la diminution du stress sont connus, ceux qu'elle produit sur la cognition le sont un peu moins. Une étude de 2007 a montré que la matière grise des « méditants » diminuait très faiblement avec l'âge. En dehors d'un renforcement de nos capacités à rester concentrés et attentifs, la pratique de la méditation entraîne d'autres effets bénéfiques. Elle permet d'augmenter la flexibilité cognitive, cette capacité créative qui nous permet de changer de stratégie et de nous adapter, ainsi que la pensée divergente à la base de la créativité. La mémoire est également améliorée. En particulier, la mémoire de travail qui nous permet de garder en tête à court terme quelques informations nécessaires à l'exécution immédiate d'une tâche, comme lors d'un calcul mental. Ces effets ont été validés par l'imagerie cérébrale, laquelle a montré des modifications fonctionnelles et anatomiques dans le cerveau des pratiquants réguliers.

Ce qui est encourageant, c'est que l'ensemble de ces activités stimulantes améliorent notre cerveau quel que soit notre âge. L'organe est suffisamment plastique pour que le vieillissement cérébral ne soit pas une fatalité.

Cet état de fait dément le vieux mythe selon lequel les trois premières années de la vie sont la période critique de la formation du cerveau durant laquelle tout notre avenir se joue. Effectivement, la synaptogenèse et la formation de myéline structurent le cerveau de manière extrêmement importante en ces bas âges. Pour autant, il n'existe aujourd'hui aucune donnée neuroscientifique concluante entre la densité synaptique du tout jeune enfant et une quelconque prédiction sur ses capacités d'apprentissage ultérieures. L'origine du mythe remonte au XVIIIe siècle, lorsque les transformations des sociétés urbaines européennes ont débarrassé les femmes des familles riches d'un certain nombre de tâches domestiques. Elles pouvaient dès lors se consacrer de manière plus exclusive à l'éducation de leurs enfants. L'amour et les soins maternels sont devenus les outils privilégiés pour façonner le destin des enfants, et ceux qui ne bénéficiaient pas des bonnes stimulations se voyaient voués à l'échec scolaire, professionnel et social. Ce mythe, toujours largement répandu, continue d'être à l'origine, chez de nombreux parents, d'un sentiment de culpabilité et d'incompétence face aux échecs, ou tout

simplement aux différences, de leurs enfants.

Les jeux d'entraînement cérébral : une imposture ?

Les ventes de l'industrie de l'entraînement cérébral, en plein essor, sont estimées à plus d'un milliard de dollars chaque année. Le site Internet Lumosity, lancé en 2007 par Lumosity, Lumos Labs, un développeur de jeux d'« entraînement cérébral » comptait, en janvier 2015, environ 70 millions de membres, auxquels était promis, moyennant un abonnement mensuel de quinze dollars, une augmentation des performances scolaires ou professionnelles, et même une forme de prévention contre la maladie d'Alzheimer. L'entreprise vient d'être condamnée à une amende de deux millions de dollars pour publicité mensongère, ce qui mérite de s'interroger sur les bienfaits réels de telles méthodes.

Surfant sur la peur du vieillissement et de la maladie d'Alzheimer, les programmes d'entraînement cérébral ont fleuri sur Internet, les téléphones portables ou les tablettes. La méthode la plus célèbre reste celle du Dr Ryuta Kawashima. Le neurologue japonais a sélectionné une série d'exercices et d'activités supposée entraîner une plus forte activation de la région préfrontale. Il les a intégrés dans un jeu vidéo commercialisé en 2005 sous le nom de « Programme d'entraînement cérébral ». Ces exercices cognitifs ne sont pas forcément innovants, et peu différents des jeux qui garnissent les magazines (sudoku, rébus, labyrinthes, jeu des sept erreurs, etc.). La plupart sont des tests pratiqués en psychologie depuis de très nombreuses années et restent très classiques (calcul mental, lecture à voix haute, test de Stroop, tests de mémoire, etc.). Il est intéressant de noter que Kawashima a breveté ces jeux, s'attribuant par là même des découvertes et des épreuves appartenant au patrimoine scientifique. Par ailleurs, il existe des logiciels développés dans des buts thérapeutiques afin de corriger des troubles de l'attention ou de la mémoire. Mais leur efficacité est due à leur spécialisation. Les programmes d'entraînement cérébral prétendent pour leur part améliorer globalement nos performances cognitives, en sollicitant la mémoire, l'attention, la coordination ou la rapidité.

Une étude réalisée à l'université de Cambridge, et publiée dans la prestigieuse revue *Nature* en 2010, a évalué l'effet de ces jeux cérébraux sur un vaste échantillon de près de 11 500 participants, âgés de 18 à 60 ans. Les résultats ont montré des améliorations dans chacune des compétences entraînées, mais aucun transfert n'a été constaté dans des compétences proches. Par exemple, s'entraîner au calcul mental nous rendra meilleur en calcul mental, mais n'augmentera nullement notre capacité à manipuler mentalement des formes géométriques. Il semble que les réseaux de neurones soient tellement

spécialisés qu'ils sont incapables d'intervenir même pour des activités proches. Moins idiots que d'autres jeux, ces programmes d'entraînement n'en restent pas moins… des jeux. Ils pourront sans aucun doute participer à maintenir votre cerveau en forme en le sollicitant, mais n'espérez pas augmenter vos capacités grâce à eux. Vous ne pourrez, au mieux, qu'améliorer votre score au jeu. Ils ne sont pas prêts de remplacer les activités scolaires et professionnelles, lesquelles, par leur durée et leur variété, assurent de réels apprentissages et un vrai développement de nos capacités.

Éducation de l'intelligence, intelligence de l'éducation

Pour prendre une métaphore informatique, nous pourrions dire que chaque individu reçoit à sa naissance un micro-ordinateur ainsi qu'un système d'exploitation, mais sans aucun logiciel. Sa mission consiste à les nourrir de logiciels et de fichiers de plus en plus riches tout au long de sa vie. Ces contenus lui seront propres, mais une grande partie d'entre eux, ainsi que la façon de les classer et de les utiliser, lui auront été inculqués par l'école. Nous avons vu, au début de ce chapitre, qu'existait un large consensus pour expliquer l'effet Flynn par l'amélioration des systèmes d'éducation, du moins dans les pays industrialisés. L'intelligence doit donc beaucoup à l'éducation, mais grâce aux découvertes réalisées sur le fonctionnement du cerveau, la pédagogie doit désormais s'inspirer des neurosciences.

Neurosciences et apprentissage scolaire : une révolution en marche

La discipline qui permet d'améliorer l'enseignement et l'apprentissage en se calquant sur le fonctionnement du cerveau s'appelle la neuropédagogie. C'est un domaine de recherche relativement nouveau. Le rapprochement entre les sciences cognitives et l'enseignement existe depuis de nombreuses années, dans les pays qui ont mis en place des programmes d'étude sur la question : le LLD (*Learning Lab Denmark*) au Danemark ; un master sur la convergence sciences cognitives-éducation (*Mind, Brain, and Education*) à l'université de Harvard, et, depuis 2005, l'université de Cambridge abrite un Centre for Neuroscience in Education.

Nos cerveaux présentent tous des similarités en termes d'organisation. Ces principes généraux doivent permettre de bâtir les bases de tout apprentissage. Au sein de ces programmes, de nombreux spécialistes estiment aujourd'hui que tous les enseignants devraient recevoir, au cours de leur formation initiale, une initiation aux neurosciences pour qu'ils comprennent à quel point ils peuvent contribuer au développement des capacités d'apprentissage des enfants.

Le cerveau est structuré dès la naissance, il contient des connaissances innées, mais aussi des algorithmes d'apprentissage comme nous l'avons déjà vu avec le bébé statisticien. L'enfant apprend par répétition et par erreur. Il fait « un pari » sur la probabilité qu'un événement survienne, en utilisant un certain nombre d'hypothèses dont il dispose naturellement ou par son expérience passée. Ensuite, en fonction du résultat, il révise son estimation. La neuropédagogie part du principe qu'il faut recycler les structures cérébrales et les mécanismes qui en résultent en fonction des usages culturels.

Par exemple, pour la lecture, qui a été bien étudiée par Stanislas Dehaene, les découvertes des neurosciences ont permis d'élaborer des principes d'apprentissage garantissant de meilleurs résultats. Lors de ses travaux, Dehaene s'est aperçu, grâce à l'imagerie cérébrale, que la perception d'un mot activait une aire bien particulière du cortex visuel de l'hémisphère gauche, et ce, quelle que soit la culture du sujet. Cette zone est activée extrêmement rapidement (entre 200 et 300 millisecondes), mais de manière plus tardive chez l'enfant que chez l'adulte, ce qui montre que les adultes ont automatisé le traitement visuel dédié à la lecture par l'apprentissage et la répétition. Cette aire du cerveau est également l'une des zones où le traitement de l'image « en miroir » est le plus fort. Ce processus dit « en miroir » s'apparente à une forme de traitement de l'information visuelle qui nous offre de reconnaître un objet, une forme ou un visage quelle que soit son orientation. Les mécanismes de l'évolution, qui ont permis l'émergence de ce traitement « en miroir », ont été rendus obsolètes par notre culture. Nous avons donc recyclé cette partie du cerveau pour accomplir de nouvelles tâches comme la lecture. Le mécanisme originel de la vision en miroir se retrouve dans les erreurs commises par de jeunes enfants avec les lettres : ils confondent systématiquement p et q, b et d ou encore le 2 et le 5 sur les écrans à cristaux liquides. Ils doivent rééduquer cette zone et désapprendre

certains réflexes visuels pour les réattribuer à la lecture. Lors de cette reprogrammation, le cerveau apprend progressivement à affecter une forme à un son, un phonème à un graphème, b et a au son « ba ».

Les conclusions de cette découverte sont que l'enseignement systématique des correspondances graphème-phonème (apprendre les mots en les décomposant en syllabes) est plus efficace que les autres méthodes d'apprentissage de la lecture (la tristement célèbre « méthode globale »). Ce type d'enseignement permet d'obtenir de meilleurs résultats en terme de décodage et de compréhension écrite que d'autres méthodes. Pour les enfants, plus ce type d'enseignement débute précocement, meilleurs seront les résultats, en particulier pour les élèves qui risquent de rencontrer des difficultés d'apprentissage de la lecture, que ce soit pour des raisons linguistiques ou sociologiques.

Par ailleurs, nous savons également que les langues utilisent des orthographes plus ou moins transparentes. Par exemple, en anglais, le graphème « a » se lit de différentes manières : cake, cat, call, above. En italien, le graphème « a » se lit toujours /a/. En français, le graphème « a » se lit /a/ sauf dans août. Les langues dites « transparentes », comme l'italien dont l'orthographe reflète la prononciation, nécessitent un décodage visuel moins important, au contraire de langues comme l'anglais, dites « opaques ». Plus la langue est « transparente », plus l'apprentissage de la lecture s'avère facile. Nous devons établir moins de connexions dans notre cerveau car il existe moins de couples graphème-phonème distincts à mémoriser. L'apprentissage de chaque langue nécessiterait donc des méthodologies différentes en tenant compte de leur degré de transparence orthographique.

Comme pour la lecture, les structures de bases sont génétiquement programmées pour l'utilisation des chiffres. Nous pensons aujourd'hui que les très jeunes bébés, dès les premiers jours après la naissance, possèdent un sens inné des nombres échelonnés de 1 à 3 (au-delà, le langage demeure nécessaire). Mais l'utilisation de ces structures passe par un travail de « reconversion » de plusieurs circuits neuronaux non dédiés aux mathématiques. C'est pourquoi de nombreux neuroscientifiques s'interrogent actuellement sur la possibilité d'élaborer, à partir de cette intuition numérique, une nouvelle pédagogie des mathématiques. Avec ces exemples, nous percevons comment des connaissances précises des mécanismes cognitifs pourraient servir dans l'apprentissage de la lecture et de l'arithmétique.

S'INTERROGER POUR MIEUX MÉMORISER

L'apprentissage repose en grande partie sur la mémoire. La mémoire à long terme inclut la mémoire procédurale, qui permet d'acquérir des savoir-faire, de les stocker et de les reproduire. Ce processus de mémorisation est automatique et difficilement accessible à la conscience. Il se déroule en trois grandes étapes : l'acquisition de l'information, qui est le processus initial permettant de conserver les caractéristiques essentielles des informations à retenir ; le stockage de l'information, qui permet d'oublier ce qui a été mémorisé et de libérer de l'espace dans la mémoire de travail ; et la récupération de l'information, qui permet à l'individu de restituer ce qu'il a acquis. La récupération est capitale pour la mémorisation. Ce processus nécessite une hiérarchisation des éléments ou une catégorisation. Nous savons, par exemple, que le cerveau retient sept fois plus d'informations si elles sont catégorisées. Grâce à la célèbre formule « mais ou et donc or ni car », l'élève apprend sept conjonctions de coordination en une seule phrase. Pour le cerveau, il s'agit d'un seul élément alors que l'élève, lui, accède à sept savoirs en une fois.

Les scientifiques ont montré que l'effort conscient de récupération de l'information dans la mémoire est bien plus efficace pour l'apprentissage que des lectures successives ou les répétitions orales. Autrement dit, l'interrogation régulière des élèves sur le contenu d'un cours donne de meilleurs résultats qu'un apprentissage « par cœur ». En voici un exemple. En 1993, John Basinger, alors âgé de 58 ans, s'impose un défi : apprendre par cœur *Le Paradis perdu,* un poème particulièrement long (environ deux cents pages) du poète anglais John Milton. Après neuf années d'efforts quotidiens, à raison de plusieurs heures par jour, Basinger est prêt, il monte un spectacle où il récite l'intégralité du poème. Cette performance attire la curiosité de psychologues de l'université du Connecticut, aux États-Unis. Ils testent John Basinger pour connaître les secrets de sa mémoire à un âge si avancé. Mais, surprise, ils découvrent que sa mémoire est… tout à fait ordinaire. Il a accompli cet exploit extraordinaire à force de persévérance, de passion, de motivation, et grâce à un travail acharné. Mais il n'a nullement augmenté ses capacités de mémorisation.

Toutes ces découvertes nous permettent de renforcer les techniques d'apprentissage. Cependant, il ne faut pas oublier que tous les processus cognitifs sont sous influence. Dans le cas de la mémoire, le caractère

émotionnel des informations à mémoriser, ainsi que les objectifs visés (donc la motivation de l'individu) auront un effet direct sur la qualité des apprentissages. Pour assurer un développement optimal de notre intelligence, il faut donc lui fournir un environnement adéquat.

L'environnement idéal

Les connaissances actuelles sur le fonctionnement du cerveau ont permis de définir les conditions idéales pour créer un environnement propice à l'apprentissage.

La motivation

La motivation est un moteur essentiel dans tout apprentissage, ainsi que dans la bonne exécution d'une tâche. Si vous trouvez particulièrement rébarbatif le simple fait de résoudre les problèmes arithmétiques d'un test de QI, il est fort probable que vous n'obtiendrez pas de bons résultats. Vous vous sentirez peu doué pour cet exercice, et aurez encore moins envie de le réitérer. Une étude réalisée sur des joueurs de football professionnels allemands, brésiliens, japonais et australiens en 1999, a montré que le succès de ces sportifs serait plus lié à leur entraînement qu'à leur talent naturel. Statistiquement, ces joueurs étaient souvent, durant leurs premières années de pratique, les plus âgés de leur équipe. Plus grands et plus forts, ils récupéraient plus souvent le ballon et marquaient davantage. Ce sont ces succès qui les auraient motivés pour continuer à s'entraîner de manière intensive, les rendant encore meilleurs. Si la pratique délibérée et intensive est une condition nécessaire pour progresser dans un domaine quelconque, ce n'est pas une condition suffisante pour atteindre l'excellence, ou tout du moins un haut niveau d'expertise. Les prédispositions innées et les facteurs environnementaux sont tellement imbriqués qu'il est difficile de toujours faire la part des choses.

Le cerveau n'assimile de nouvelles connaissances que lorsque l'individu est dans une posture active. Par exemple, l'écoute passive d'une conférence ne permet pas un apprentissage en profondeur. Dans l'enseignement traditionnel, l'élève devait absorber les connaissances qui

lui étaient proposées et suivre les consignes qui lui étaient données. Mais cette attitude très passive, si elle est la seule alternative proposée, n'est pas très motivante. Et sans motivation, la qualité de l'apprentissage s'avère moins bonne. Dans un tel cadre, beaucoup d'élèves ne réservent leurs efforts qu'aux tâches pour lesquelles ils estiment avoir déjà une compétence, car ils s'attendent à un retour positif en réussissant la tâche. Cependant, ils ne chercheront pas à étendre leur maîtrise à d'autres compétences par manque de confiance et donc de motivation.

Ceci montre l'importance de ce que l'on nomme la « métacognition », c'est-à-dire la connaissance et la verbalisation par l'élève, des buts qu'il poursuit, de ses compétences à réaliser une tâche cognitive, des stratégies qu'il met en œuvre pour y parvenir et l'évaluation de ses résultats. En d'autres termes, l'avantage revient à ceux qui comprennent et connaissent leurs propres processus cognitifs. Des travaux ont montré que les enfants qui maîtrisaient les stratégies de mémorisation les plus efficaces étaient aussi capables de s'exprimer à propos de ces stratégies. L'utilité d'un enseignement des méthodes d'apprentissage qui conduit les élèves à se poser ces questions, en alternant apprentissage et tests répétés des connaissances, semble donc largement fondée. Pour autant, il ne suffit pas de donner des astuces d'apprentissage, il faut s'entraîner à pratiquer régulièrement la métacognition critique pour construire sa propre méthode.

L'ATTENTION

Aucun apprentissage n'est possible sans attention. Celle-ci nous permet de sélectionner et traiter une information. En modulant l'activité cérébrale, elle facilite l'apprentissage. Des recherches ont montré que pour optimiser l'apprentissage, des sessions courtes – n'excédant pas vingt minutes, plusieurs fois par jour – s'avéraient bien plus efficaces que des cours de plusieurs heures. Nos capacités d'attention et de concentration étant limitées, il est plus efficace de travailler intensément durant plusieurs courtes périodes, aux moments considérés comme les plus propices selon son propre rythme et ses propres capacités de concentration, puis de se reposer entre deux, tout aussi intensément.

Les capacités attentionnelles peuvent également s'entraîner, et cela dès le plus jeune âge, en travaillant sur la capacité d'inhibition du cerveau. Nous avons vu, dans le chapitre 5, que les fonctions exécutives

qui permettent cette inhibition pourraient constituer la clé de l'intelligence. En résistant à certains comportements, aux distractions, à certaines stratégies « intuitives » ou « automatiques » qui nous font commettre des erreurs, nous pouvons non seulement développer des capacités d'adaptation cognitive en sélectionnant la meilleure stratégie, mais aussi notre attention. Une étude de 2005 a montré qu'un enfant de quatre ans entraîné à raison d'une heure par jour, internalise durablement ces méthodes, et atteint avec deux ans d'avance les capacités attentionnelles d'un enfant de huit ans.

Les erreurs bénéfiques

Nous apprenons de nos erreurs. Ce n'est pas un proverbe éculé, c'est une vérité scientifique. Nous avons vu que notre cerveau réalise en permanence des prédictions sur le monde extérieur, et qu'il réajuste en permanence ses prévisions. Mais si la prédiction est parfaite, il ne réajuste rien, ce qui n'entraîne aucun apprentissage. L'erreur et sa compréhension se révèlent donc indispensables à tout enseignement. Il faut par conséquent bannir de toute pédagogie les signaux négatifs qui pourraient accompagner, sanctionner ou moquer une erreur. Il faut au contraire tolérer cette dernière car elle est partie prenante de l'apprentissage de qualité au même titre qu'une réponse exacte.

Le sommeil

La mémoire s'avère bien meilleure après une nuit de sommeil que lorsqu'elle est sollicitée juste après un apprentissage. Lorsque nous nous endormons, certaines parties de notre cerveau se mettent au repos tandis que d'autres débutent une activité intense. Parmi ces régions, certaines sont impliquées dans le codage de notre mémoire à long terme. Pendant le sommeil, le cerveau rejoue l'activité neuronale de la journée. Il classe, trie, associe et consolide ainsi nos apprentissages. Parallèlement, les cellules gliales font un grand ménage, en éliminant toutes les toxines accumulées durant la journée. Un sommeil de qualité et en quantité suffisante est le garant de notre santé mentale, et de nos performances cognitives. Difficile pourtant dans notre société qui considère le sommeil comme une perte de temps, de se ménager les sept heures quotidiennes

en deçà desquelles nous jouons avec notre santé. Par ailleurs, le rythme du sommeil se montre tout aussi important que sa durée. Nous savons, par exemple, que le travail de nuit est responsable d'une diminution des fonctions cognitives. Une étude américaine récente a soumis des souris à un rythme identique à ceux des travailleurs nocturnes. Elles ont perdu de manière irréversible un quart de leurs neurones dans une aire du cerveau liée au fonctionnement cognitif.

---

1. James Flynn, entretien réalisé le 9 juin 2015.
2. James Flynn, entretien réalisé le 9 juin 2015.
3. Jan te Nijenhuis, entretien réalisé le 17 avril 2015.
4. *Idem*.
5. Barbara Demeneix, entretien réalisé le 14 avril 2015.
6. *Idem*.
7. *Idem.*
8. Barbara Demeneix, entretien réalisé le 14 avril 2015.

Conclusion

Au terme de cet ouvrage, nous avons pu lever une partie du voile sur la question de l'intelligence, telle une qualité qui fonderait notre identité en tant qu'espèce, et telle une valeur qui caractériserait un individu. L'intelligence est ce qui nous permet d'agir dans le monde, de penser le réel et d'imaginer l'impossible. Elle fonde la quasi-totalité de nos actions, et pourtant elle nous échappe sans cesse. Elle nous permet de comprendre, de tisser des liens, d'agir, de nous adapter. Et pourtant, elle ne nous permet pas de la comprendre. Elle dispose de tellement de facettes que, selon l'endroit d'où on l'examine, sa définition change, et elle nous échappe encore pour devenir autre. Les outils que nous inventons ne nous permettent d'en appréhender qu'un usage possible. C'est ce que fait le QI en évaluant certains de ses aspects.

Mais comment savoir si une intelligence est supérieure, inférieure ou simplement différente ? Le QI, aussi efficace soit-il dans certains contextes, ne pourra jamais répondre à cette simple question : un chaman de la tribu des Nenets de Sibérie est-il plus ou moins intelligent qu'un professeur d'université ? L'intelligence est liée à la personnalité, au contexte, à l'environnement de manière tellement étroite qu'elle en est indissociable. Et lorsque nous tentons de dépasser ces relativismes en faisant appel aux outils les plus puissants d'une science qui se voudrait objective, de nouveaux mystères surgissent.

Ce début de XXIe siècle est riche en découvertes nous permettant de mieux comprendre le fonctionnement du cerveau. Et d'autres nous sont promises pour les années qui viennent. Qu'avons-nous réellement appris ? Que des centaines de milliards de cellules, des milliards de bases d'ADN, des milliers de gènes, des dizaines d'hormones, interagissent en permanence, entre eux et avec l'infini des possibles de notre environnement. Complexité inouïe qui met en valeur le travail

remarquable de patience, de persévérance et d'intelligence des scientifiques qui œuvrent à décrypter le réel.

« Il faut imaginer Sisyphe heureux », disait Albert Camus. Cette tâche à laquelle la science s'est attelée, qui semble absurde et sans fin, tant chaque découverte augmente la proportion de choses qui restent à découvrir, vaut pourtant la peine. Car même si nous ne parvenons pas à tout comprendre, à tout savoir, nos nouvelles connaissances nous donnent de nouveaux outils qui sont autant de moyens d'actions. Car nous sommes responsables de notre intelligence et de notre bêtise. Et mieux nous comprendre nous permettra peut-être, non pas d'arborer une plus grande intelligence, mais une meilleure intelligence. Celle qui nous permettra de mieux vivre dans un monde qui change tellement vite qu'il nous pose sans cesse de nouveaux défis à relever. L'un de ces défis concerne l'intelligence elle-même.

En 2008, dans un long article « Google nous rend-il stupide ? », Nicholas Carr, ancien rédacteur en chef de la *Harvard Business Review*, racontait comment l'accès quotidien à Internet via un ordinateur ou un smartphone érodait sa capacité de concentration et de réflexion. Une sensation que nous sommes nombreux à avoir expérimentée. En 2011, des chercheurs de l'université Columbia, à New York, ont montré que l'utilisation d'Internet nous faisait moins mémoriser l'information en elle-même, que le chemin qui y conduit. Il y a quinze ans, la durée d'attention moyenne d'un humain était estimée à douze secondes, aujourd'hui elle n'est plus que de huit secondes, soit inférieure à celle d'un poisson rouge (neuf secondes). Ces chiffres nous viennent d'une enquête menée par Microsoft auprès de deux mille Canadiens. L'objectif initial de cette étude était d'analyser le niveau de concentration des internautes pour concevoir des publicités plus efficaces.

Ces résultats inquiétants s'expliquent en grande partie par nos modes de vie modernes qui « découpent » en permanence notre attention. Mails, SMS, tweets, téléphone : notre société est tellement connectée que notre capacité à demeurer concentré sur une seule tâche pendant un laps de temps assez long devient une mission quasi impossible. Nous savons que la pensée a besoin de continuité pour s'organiser : voici donc un nouveau défi que notre intelligence va devoir relever. Hyperstimulées en permanence, la « génération Google » et les suivantes seront de plus en plus « câblées » pour le papillonnage multitâche, et de moins en moins pour la concentration monotâche. Il s'agit d'une évolution culturelle liée à

l'environnement technologique, à laquelle nous devrons nous adapter. Inutile de porter un jugement moral et de chercher à contrecarrer cet état de fait par des mesures inapplicables. Mieux vaut anticiper le changement et l'accompagner. Il est évident que notre intelligence va devoir s'adapter. La complexité du monde dans lequel nous vivons et vers lequel nous allons va nous contraindre à développer des compétences spécifiques. Chaque jour, nous devons traiter un nombre d'informations des centaines de fois supérieur à celui que notre cerveau devait traiter il y a un siècle.

Cette évolution très rapide modifie notre cerveau, et notre façon d'« être intelligent ». Cela ne signifie pas que notre intelligence augmente ou diminue, mais nos outils pour l'évaluer doivent être réévalués en permanence en regard de l'évolution de notre monde. Si demain nous utilisons beaucoup plus de compétences visuo-spatiales du fait de notre pianotage permanent sur des écrans ou des claviers, cela signifie-t-il que nous serons plus intelligents, ou simplement que nous aurons développé de nouvelles compétences ? Quoi qu'il en soit, cette mutation s'effectuera peut-être au détriment d'autres. Ainsi, tous les outils intellectuels qui découlent de la pratique de l'écriture manuelle pourraient s'estomper, car ils n'emploient pas du tout les mêmes réseaux neuronaux. Mais qui continuera d'écrire à la main dans cinquante ans ?

Le cerveau va tisser de nouveaux réseaux de neurones et de nouvelles aptitudes en inhibant des compétences qui nous seront devenues inutiles. Nous fonctionnons aujourd'hui avec des « logiciels » et des cartes cognitives anciens, car le monde va beaucoup plus vite que l'évolution du cerveau. Pour nous adapter, l'apport des neurosciences sera sans doute essentiel. Les acquis de la science contemporaine constituent un atout pour améliorer l'utilisation optimale de notre cerveau, et de toutes nos possibilités humaines.

Solutions aux tests

Tests de QI (p. 69 à 74)

1. ACD
2. C
3. B et D
4. E
5. C
6. F. (A et G sont identiques, tout comme B et E, ainsi que C et D.)
7. 2
8. C
9. D
10. 2
11. 19. Parce que dans la suite 4 – 6 – 9 – 6 – 14 – 6… un terme sur deux est le 6 (invariant) l'autre progresse en rajoutant 5 à chaque fois, et 14 + 5 = 19.
12. 192, 87, 696. Le passage d'un nombre à trois chiffres à un nombre à deux chiffres se fait en effectuant la différence entre le chiffre des dizaines et le chiffre des centaines pour obtenir le nouveau chiffre des dizaines, et en effectuant la différence entre le chiffre des dizaines et le chiffre des unités pour obtenir le nouveau chiffre des unités.

Le passage d'un nombre à deux chiffres à un nombre à trois chiffres se fait en multipliant le nombre à deux chiffres par 8.

Ainsi, 24 x 8 = 192

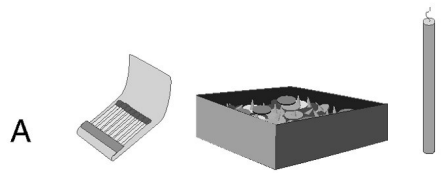
192 donne le nombre 87 (9 – 1 = 8 et 9 – 2 = 7)

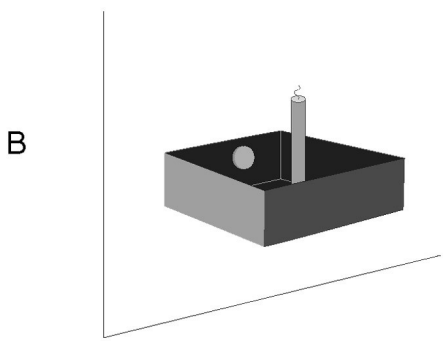
Et enfin 87 x 8 = 696.

Test de créativité

Le problème de la bougie (p. 110)

Il faut fixer la boîte sur le mur avec une punaise, puis placer la bougie dans la boîte.





Les associations éloignées (p. 110-111)

Maux – Chasseur – Chou : tête
Sandwich – Golf – Football : club
Salle – Bulles – Sels : bain
Lumière – Anniversaire – Bâtonnet : bougie
Temps – Cheveux – Étirement : long
Savon – Chaussure – Mouchoir : boîte
Art – Ronde – Tennis : table
Tomber – Acteur – Poussière : étoile (étoile filante, étoile – star de

cinéma, poussière d'étoiles)

Énigmes (p. 111-112)

1. Il n'y a que trois personnes, le grand-père, le père et le fils (l'un est à la fois père et fils).
2. Il est allé se coucher durant la journée.
3. Un prêtre.
4. Elle espérait que le jeune homme viendrait de nouveau aux funérailles.

Test du biais d'appariement (p. 146)

La réponse instinctive la plus fréquente est : carré rouge/rond jaune, alors que la bonne réponse est carré bleu/losange vert.

Bibliographie

Aubert-Marson Dominique, *Histoire de l'eugénisme*, Ellipses, 2010.

Bach Jean-François, Léna Pierre, Houdé Olivier et Tisseron Serge, *L'Enfant et les écrans*, Le Pommier, 2013.

Bourre Jean-Marie, *La Nouvelle Diététique du cerveau*, Odile Jacob, 2006.

Buzan Tony, *Muscler son cerveau avec le mind mapping*, Eyrolles, 2009.

Campbell Bruce, *Les Intelligences multiples. Guide pratique*, Chenelière/ Didactique, 1999.

Carper Jean, *Les aliments miracles pour votre cerveau*, Éditions de l'Homme, 2001.

Chabot Daniel, *Cultivez votre intelligence émotionnelle*, Québécor, 1998.

Chalvin Marie-Joseph, *Utilisez toutes les capacités de votre cerveau*, ESF, 1990.

Cherici Céline et Dupont Jean-Claude, *Les Querelles du cerveau. Comment furent inventées les neurosciences*, Vuibert, 2008.

Corcos Gilles, *Développez vos compétences émotionnelles*, Eyrolles, 2010.

Damasio Antonio, *L'Erreur de Descartes. La raison des émotions*, Odile Jacob, 1995.

De Bono Edward, *La boîte à outils de la créativité*, Éditions d'Organisation, 2004.

Demeneix Barbara, *Losing Our Minds: How Environmental Pollution Impairs Human Intelligence and Mental Health*, Oxford University Press, 2014.

Fields R. Douglas, *The Other Brain. The Scientific and Medical Breakthroughs That Will Heal Our Brains and Revolutionize Our Health*, Simon & Shuster, 2011.

Flynn James R., *What is Intelligence ? Beyond the Flynn Effect*, Cambridge University Press, 2007.

Gardner Howard, *Les Intelligences multiples*, Retz, 2004.

Geary David, *Origin of Mind: Evolution of Brain, Cognition, and General Intelligence*, American Psychological Association, 2005.

Goleman Daniel, *L'Intelligence émotionnelle. Comment transformer ses émotions en intelligence*, Robert Laffont, 1997.

Greenspan Stanley, *The Growth of the Mind and the Endangered Origins of Intelligence,* Perseus books, 1997.

Grégoire Jacques, *L'Examen clinique de l'intelligence de l'enfant,* Mardaga, 2009.

Herrnstein Richard J. et Murray Charles, *The Bell Curve*, Free Press, 1994.

Houdé Olivier, *Apprendre à résister*, Le Pommier, 2014.

Hunt Earl, *Human Intelligence*, Cambridge University Press, 2011.

Huteau Michel et Lautrey Jacques, *Évaluer l'intelligence*, Presses universitaires de France, 2003.

– *Les Tests d'intelligence,* La Découverte, 2006.

Jay Gould Stephen, *La Mal-mesure de l'homme*, Odile Jacob, 1997 (seconde édition revue et augmentée).

Lautrey Jacques et Richard Jean-François, *L'Intelligence*, Hermès Lavoisier, 2005.

Laveault Dany et Grégoire Jacques, *Introduction aux théories des tests*, De Boeck, 2002.

Lestel Dominique, *Les animaux sont-ils intelligents ?*, Le Pommier, 2006.

Lieury Alain, *Mémoire et réussite scolaire*, Dunod, 1997 (3e édition).

– *Doper son Cerveau. Réalité ou intox* (2e édition de *Stimuler ses neurones*), Dunod, 2010.

Lubart Todd, *Psychologie de la créativité*, Armand Colin, 2005.

Mikolajczak Moïra, Quoidbach Jordi, Kotsou Ilios et Nelis Delphine, *Les Compétences émotionnelles*, Dunod, 2014.

Plomin Robert, DeFries John, Knopik Valerie, Neiderhiser Jenae, *Behavioral Genetics*, Worth Publishers, 2012 (6e édition).

Plomin Robert, *Nature And Nurture: An Introduction To Human Behavioral Genetics*, Wadsworth Publishing, 2004.

Sousa David A., *Un cerveau pour apprendre*, Chenelière/McGraw-Hill, 2002.

Retrouvez tous nos ouvrages
sur www.tallandier.com